

TESIS DOCTORAL

**Una arquitectura para aplicaciones  
educativas basadas en mundos virtuales e  
interfaces tangibles**

Por:

**Juan Mateu Ruzafa**

Director: Xavier Alamán Roldán

PROGRAMA DE DOCTORADO

Departamento de Ingeniería Informática

Escuela Politécnica Superior

Universidad Autónoma de Madrid

Octubre 2018

Departamento Ingeniería Informática  
Escuela Politécnica Superior  
Universidad Autónoma de Madrid

Título Una arquitectura para aplicaciones educativas basadas en mundos  
virtuales e interfaces tangibles

Autor Juan Mateu Ruzafa  
(Universidad Autónoma de Madrid)

Director Xavier Alamán Roldán  
Doctor en Ciencias Físicas  
(Universidad Autónoma de Madrid)

Año 2018

Tribunal Presidente: José Bravo Rodríguez

Secretario: Germán Montoro Manrique

Vocal: Miguel Gea Megías

# Resumen

## **Una arquitectura para aplicaciones educativas basadas en mundos virtuales e interfaces tangibles**

*por Juan Mateu Ruzafa*

En esta tesis se desarrolla una arquitectura, denominada Virtual Touch, que combina los mundos virtuales con las interfaces de usuario tangibles para proporcionar un entorno de realidad mixta que permite desarrollar, de manera sencilla, aplicaciones educativas.

Los mundos virtuales proporcionan un entorno tridimensional que permite la simulación de contextos realistas: así el estudiante puede sumergirse en el entorno y conseguir un aprendizaje más significativo. La interacción con los mundos virtuales se lleva a cabo mediante la utilización de interfaces de usuario tangibles: así el estudiante puede interactuar con el sistema de una forma más natural e intuitiva. La combinación de ambos paradigmas se denomina “realidad mixta”, y constituye un entorno privilegiado para favorecer un aprendizaje de tipo constructivista, combinando diversas metodologías pedagógicas en un contexto “gamificado”.

La arquitectura Virtual Touch proporciona un entorno de desarrollo que facilita la creación de actividades educativas por parte de educadores con distintos niveles de conocimientos de informática y electrónica: la arquitectura se adapta a cada tipo de usuario educador según su nivel de conocimientos. Se han realizado cinco experiencias en centros educativos de Educación Secundaria Obligatoria, Bachillerato y ciclos formativos de Grado Medio, contando con la participación de usuarios educadores con diferentes niveles de conocimientos de informática. Estos educadores han colaborado en el desarrollo de aplicaciones educativas empleando la arquitectura Virtual Touch, que luego fueron probadas con sus alumnos.

# Abstract

## **An architecture for educational applications based on tangible interfaces and virtual worlds**

*by Juan Mateu Ruzafa*

In this thesis an architecture is developed, called Virtual Touch, that combines virtual worlds with tangible user interfaces to provide a mixed reality environment that allows to develop, in a simple way, educational applications.

Virtual worlds provide a three-dimensional environment that allows the simulation of realistic contexts: thus students can immerse themselves in the environment and achieve a more meaningful learning. The interaction with the virtual worlds is carried out through the use of tangible user interfaces: thus students can interact with the system in a more natural and intuitive way. The combination of both paradigms is called “mixed reality”, and constitutes a privileged environment to favor constructivist-type learning, combining various pedagogical methodologies in a “gamified” context.

The Virtual Touch architecture provides a development environment that facilitates the creation of educational activities by educators with different levels of computer and electronic knowledge: the architecture adapts to each type of educator according to their level of knowledge. There have been five experiences in educational centers of Secondary Education, Baccalaureate and intermediate level training cycles, with the participation of educators with different levels of computer knowledge. These educators have collaborated in the development of educational applications using the Virtual Touch architecture, which were then tested with their students.



# Resum

## **Una arquitectura per a aplicacions educatives basades en interfícies tangibles i mons virtuals**

*by Juan Mateu Ruzafa*

En aquesta tesi es desenvolupa una arquitectura, denominada Virtual Touch, que combina els mons virtuals amb les interfícies d'usuari tangibles per proporcionar un entorn de realitat mixta que permet desenvolupar, de manera senzilla, aplicacions educatives.

Els mons virtuals proporcionen un entorn tridimensional que permet la simulació de contextos realistes: així l'estudiant pot submergir-se en l'entorn i aconseguir un aprenentatge més significatiu. La interacció amb els mons virtuals es du a terme mitjançant la utilització d'interfícies d'usuari tangibles: així l'estudiant pot interactuar amb el sistema d'una forma més natural i intuïtiva. La combinació de tots dos paradigmes es denomina “realitat mixta”, i constitueix un entorn privilegiat per afavorir un aprenentatge de tipus constructivista, combinant diverses metodologies pedagògiques en un context “gamificat”.

L'arquitectura Virtual Touch proporciona un entorn de desenvolupament que facilita la creació d'activitats educatives per part d'educadors amb diferents nivells de coneixements d'informàtica i electrònica: l'arquitectura s'adapta a cada tipus d'usuari educador segons el seu nivell de coneixements. S'han realitzat cinc experiències en centres educatius d'Educació Secundària Obligatòria, Batxillerat i cicles formatius de Grau Mitjà, comptant amb la participació d'usuaris educadors amb diferents nivells de coneixements d'informàtica. Aquests educadors han participat en el desenvolupament d'aplicacions educatives emprant l'arquitectura Virtual Touch, que després van ser provades amb els seus alumnes.

# Agradecimientos

Esta tesis es fruto de un trabajo de muchos años y que ha sido posible terminarla gracias al esfuerzo y al apoyo incondicional de mi familia y a la paciencia de mi director Xavier Alamán.

El primer agradecimiento y más importante es para Xavier Alamán. Pese a las dificultades, al trabajo y a la distancia, Xavier ha confiado en mí y me ha animado a llevar adelante este trabajo que tanta ilusión me hacía pero que ha sido un camino difícil. En este tiempo han habido muchos correos, llamadas telefónicas de horas, visitas a Madrid y todo ha merecido la pena, ya que la tesis ha llegado a su fin. Agradezco infinitamente a Xavier su labor durante estos años, ya que no solo ha sido importante el factor profesional y técnico sino también el factor humano entendiendo todas las dificultades surgidas en el camino y siempre he recibido buenos consejos y un excelente apoyo.

A continuación, sigo citando a multitud de familiares, amigos y compañeros que de un modo u otro han hecho posible que esta tesis llegara a su fin.

Una persona que ha facilitado mucho el camino y ha aportado su granito de arena a través de su experiencia y madurez en los mundos virtuales y los proyectos educativos llevados a cabo es M<sup>a</sup> José Lasala Bello. De verdad que resulta muy fácil entenderse y resulta muy motivador trabajar con M<sup>a</sup> José con cualquier tipo de proyecto y por ello agradezco sus aportaciones en esta tesis.

En este camino donde he trabajado en diferentes centros educativos cabe destacar y agradecer la ayuda de Lorenzo Otero que estuvo colaborando en el instituto IES Joan Coromines de Benicarló. Posteriormente, ha sido muy importante la colaboración de Laura Casades para las últimas investigaciones realizadas. Sus aportaciones tanto didácticas como en el campo de las matemáticas y también a nivel humano han sido muy valiosas. También es de agradecer a los centros educativos que he estado ya que me han facilitado enormemente la realización de las diferentes experiencias realizadas destacando la Florida Secundaria (Catarroja).

Siguiendo con los agradecimientos, cabe destacar los consejos y las ideas aportadas

por Mauri García o Jesús Alexis Benavent que han sido importantes para llevar a cabo las diferentes experiencias realizadas.

También agradecer las aportaciones realizadas por Graciela y Andrés a través de su máster y que han generado prototipos interesantes y útiles que han supuesto un avance importante en la investigación.

También agradecer a Joan Fons, ya que gracias a su tutorización en el máster me abrió el gusanillo por la investigación. Además, me gustaría agradecer a Javier Gómez Escribano por asesorarme en diferentes aspectos de la tesis especialmente en la fase inicial que tantas dudas me ha traído y al grupo de investigación GUIA por la oportunidad de participar en los diferentes proyectos.

En la parte final de agradecimientos dejo a los pilares de mi vida que son mi familia y mi mujer. Mis padres (Juan y Julia) siempre me han apoyado y son un ejemplo de trabajo y constancia en la vida. A ellos siempre les estaré agradecido. También agradecer a mi hermana Raquel y mi sobrina Júlia. Y finalizo con la persona más importante de mi vida con la que comparto el proyecto de vida y que ha tenido una infinita paciencia conmigo. Esta persona con enorme bondad y que tengo la suerte de tenerla a mi lado es mi mujer Maribel.

*Juan Mateu Ruzafa*  
*Octubre 2018*

# Glosario de términos

**API** Application Programming Interface

**DSRM** Design Science Research Methodology

**ESO** Educación Secundaria Obligatoria

**GBL** Game Based Learning

**GUI** Graphical User Interface

**HMD** Head-Mounted Display

**HTTP** Hypertext Transfer Protocol

**LMS** Learning Management System

**LSL** Linden Scripting Language

**MMO** Massively Multiplayer Online

**MMOLE** Massively Multi-student Online Learning Environment

**MMORPG** Massively Multiplayer Online Role-playing Game

**MOODLE** Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment

**MUD** Multi User Dungeon

**MUVE** Multi-user Virtual Environment

**NPC** Non Player Characters

**NUI** Natural User Interface

**PBL** Problem Based Learning

**RFID** Radio Frequency Identification

**SDK** Software Development Kit

**SLOODLE** Simulation Linked Object Oriented Dynamic Learning Environment

**TDA** Transtorno de Déficit de Atención

**TUI** Tangible User Interface

**UDP** User Datagram Protocol

# Índice general

Resumen	v
Abstract	vii
Resum	ix
Glosario de términos	xiii
Índice	xvii
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Hipótesis de investigación . . . . .	2
1.3. Contribuciones de la tesis . . . . .	2
1.4. Listado de publicaciones . . . . .	3
1.4.1. Artículos con factor de impacto JCR . . . . .	3
1.4.2. Artículos publicados en actas de congreso . . . . .	4
1.4.3. Capítulos de libro . . . . .	5
1.5. Estructura de la tesis . . . . .	5
<b>2. Estado del arte</b>	<b>7</b>
2.1. Mundos virtuales en la educación . . . . .	7
2.1.1. Antecedentes de los mundos virtuales . . . . .	8
2.1.2. Definición de mundo virtual . . . . .	9
2.1.3. Desarrollo de los mundos virtuales . . . . .	13
2.1.4. Enfoque pedagógico de los mundos virtuales . . . . .	14
2.1.5. Proyectos sobre mundos virtuales en la educación . . . . .	21
2.2. Interfaces tangibles en la educación . . . . .	24
2.2.1. Definición de interfaz tangible . . . . .	25
2.2.2. Enfoque pedagógico de las interfaces tangibles . . . . .	25
2.2.3. Clasificación de las interfaces tangibles . . . . .	29
2.2.4. Proyectos sobre las interfaces tangibles en la educación . . . . .	31
2.3. Realidad mixta en la educación . . . . .	34
2.3.1. Definición de realidad mixta . . . . .	34
2.3.2. Proyectos sobre realidad mixta en la educación . . . . .	35

<b>3. Aspectos metodológicos</b>	<b>39</b>
3.1. Introducción . . . . .	39
3.2. Consideraciones metodológicas . . . . .	39
<b>4. Arquitectura</b>	<b>47</b>
4.1. Objetivos . . . . .	47
4.1.1. Objetivos pedagógicos . . . . .	47
4.1.2. Objetivos técnicos . . . . .	48
4.2. Requisitos y análisis funcional de la arquitectura . . . . .	49
4.2.1. Requisitos no funcionales . . . . .	49
4.2.1.1. Requisitos de la arquitectura . . . . .	49
4.2.1.2. Requisitos generales de las aplicaciones . . . . .	50
4.2.2. Requisitos funcionales específicas de las aplicaciones . . . . .	51
4.2.2.1. Aplicación Virtual Touch Cúbica . . . . .	51
4.2.2.2. Aplicación Virtual Touch Eye . . . . .	51
4.2.2.3. Aplicación Virtual Touch Book . . . . .	52
4.2.2.4. Aplicación Virtual Touch PrimBox . . . . .	52
4.2.2.5. Aplicación Virtual Touch FlyStick . . . . .	52
4.2.3. Análisis funcional . . . . .	52
4.3. Diseño e implementación de la arquitectura . . . . .	60
4.3.1. Componente de Interfaces Tangibles . . . . .	64
4.3.1.1. Capa de Hardware . . . . .	65
4.3.1.2. Capa de Comunicaciones . . . . .	69
4.3.2. Componente de Middleware . . . . .	71
4.3.2.1. Capa de Gestión . . . . .	71
4.3.2.2. Capa de Servicios . . . . .	75
4.3.3. Componentes de Mundos Virtuales: Cliente y Servidor . . . . .	75
4.3.4. Arquitectura y configuración de OpenSim . . . . .	85
<b>5. Trabajo experimental</b>	<b>91</b>
5.1. Introducción . . . . .	91
5.2. Experiencia 1: Virtual Touch Cúbica . . . . .	93
5.2.1. Objetivo educativo . . . . .	93
5.2.2. Objetivo técnico . . . . .	94
5.2.3. Desarrollo de la experiencia . . . . .	99
5.2.4. Análisis de resultados . . . . .	102
5.2.4.1. Resultados educativos . . . . .	102
5.2.4.2. Resultados técnicos . . . . .	106
5.3. Experiencia 2: Virtual Touch Eye . . . . .	108
5.3.1. Objetivo educativo . . . . .	108
5.3.2. Objetivo técnico . . . . .	110
5.3.3. Desarrollo de la experiencia . . . . .	113
5.3.4. Análisis de resultados . . . . .	117
5.3.4.1. Resultados educativos . . . . .	118

5.3.4.2.	Resultados técnicos . . . . .	119
5.4.	Experiencia 3: Virtual Touch Book . . . . .	120
5.4.1.	Objetivo educativo . . . . .	121
5.4.2.	Objetivo técnico . . . . .	122
5.4.3.	Desarrollo de la experiencia . . . . .	124
5.4.4.	Análisis de resultados . . . . .	128
5.4.4.1.	Resultados educativos . . . . .	128
5.4.4.2.	Resultados técnicos . . . . .	129
5.5.	Experiencia 4: Virtual Touch PrimBox . . . . .	130
5.5.1.	Objetivo educativo . . . . .	130
5.5.2.	Objetivo técnico . . . . .	131
5.5.3.	Desarrollo de la experiencia . . . . .	133
5.5.4.	Análisis de resultados . . . . .	137
5.5.4.1.	Resultados educativos . . . . .	137
5.5.4.2.	Resultados técnicos . . . . .	142
5.6.	Experiencia 5: Virtual Touch FlyStick . . . . .	143
5.6.1.	Objetivo educativo . . . . .	143
5.6.2.	Objetivo técnico . . . . .	144
5.6.3.	Desarrollo de la experiencia . . . . .	146
5.6.4.	Análisis de resultados . . . . .	147
5.6.4.1.	Resultados educativos . . . . .	148
5.6.4.2.	Resultados técnicos . . . . .	153
5.7.	Experiencias complementarias . . . . .	154
<b>6.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>157</b>
6.1.	Conclusiones . . . . .	157
6.2.	Trabajo Futuro . . . . .	161
	<b>Bibliografía</b>	<b>163</b>
<b>A.</b>	<b>Anexos</b>	<b>175</b>
A.0.1.	Anexo 1. Ejercicios algoritmos ordenación . . . . .	176
A.0.2.	Anexo 2. Cuestionario Mundos virtuales . . . . .	180
A.0.3.	Anexo 3. Cuestionario usabilidad . . . . .	184
A.0.4.	Anexo 4. Actividad Virtual Touch PrimBox . . . . .	189
A.0.5.	Anexo 5. Evaluación actividad cónicas Virtual Touch FlyStick . . . . .	194
A.0.6.	Anexo 6. Prototipos Virtual Touch Book . . . . .	202
A.0.7.	Anexo 7. Esquema Virtual Touch Book . . . . .	204



# Índice de figuras

2.1. Modelo aprendizaje en entornos virtuales 3D . . . . .	17
2.2. Esquema sobre los mundos virtuales . . . . .	20
2.3. Interfaces tangibles en el aprendizaje . . . . .	27
2.4. Continuo de la Virtualidad . . . . .	34
2.5. Mundo real y mundo virtual . . . . .	35
2.6. Hype Cicle de Gartner 2017. . . . .	38
3.1. Metodología de investigación DSRM. . . . .	40
3.2. Metodología de investigación DSRM parte 1. . . . .	42
3.3. Metodología de investigación DSRM parte 2. . . . .	43
3.4. Experimentación mediante grupo experimental y grupo de control. . . .	44
3.5. Realización de pretest y postest a ambos grupos. . . . .	45
3.6. Metodología de experimentación. . . . .	46
4.1. Objetivos pedagógicos de la arquitectura Virtual Touch. . . . .	48
4.2. Usuarios Virtual Touch. . . . .	54
4.3. Diagrama de casos de uso de Virtual Touch. . . . .	55
4.4. Diagrama de secuencia usuario básico. . . . .	56
4.5. Diagrama de secuencia usuario intermedio. . . . .	57
4.6. Diagrama de secuencia usuario avanzado. . . . .	58
4.7. Diagrama flujo del registro de un nuevo dispositivo. . . . .	59
4.8. Diagrama de secuencia sobre lectura de tags RFID en el sistema. . . . .	60
4.9. Arquitectura cliente-servidor. . . . .	61
4.10. Arquitectura Virtual Touch. . . . .	62
4.11. Tecnologías y sensores utilizados en Virtual Touch. . . . .	65
4.12. Controladores y sensores Phidgets. . . . .	66
4.13. Conexión usando sensores Phidgets. . . . .	67
4.14. Conexión usando sensores Arduino. . . . .	68
4.15. Protocolos de comunicación en OpenSim. . . . .	70
4.16. Ejemplo de manejador de eventos con Phidgets RFID. . . . .	72
4.17. Arquitectura Kinect para Windows. . . . .	73
4.18. API NUI para Kinect. . . . .	74
4.19. Articulaciones Kinect. . . . .	74
4.20. Modelo tridimensional del Partenón en SketchUp. . . . .	78
4.21. Ejemplo de programación de scripts con LSL. . . . .	79

4.22. Comunicación HTTP desde los mundos virtuales al servidor . . . . .	79
4.23. Comunicación HTTP desde el servidor a los mundos virtuales. . . . .	80
4.24. Comunicación HTTP mediante scripts en OpenSim. . . . .	80
4.25. Configuración OpenSim modo autónomo. . . . .	86
4.26. Configuración OpenSim modo red. . . . .	87
4.27. Pantalla de configuración de Virtual Touch. . . . .	88
4.28. Pantalla de configuración de Virtual Touch Book. . . . .	89
5.1. Maqueta de madera Cúbica. . . . .	96
5.2. Phidgets RFID. . . . .	96
5.3. Algoritmia Island. . . . .	98
5.4. Casas temáticas en la isla virtual de Algorítmia. . . . .	98
5.5. Sistema Cúbica. . . . .	99
5.6. Estudiante interactuando con Cúbica. . . . .	101
5.7. Estudiante realizando evaluación con Cúbica. . . . .	102
5.8. Arquitectura Cúbica. . . . .	107
5.9. Microsoft Kinect para Windows. . . . .	111
5.10. Interfaces tangibles usadas con el dispositivo Kinect. . . . .	111
5.11. Reconocimiento de figuras con Microsoft Kinect y OpenCV. . . . .	112
5.12. Captura de posiciones de las figuras geométricas. . . . .	112
5.13. Alumno interactuando mediante gestos usando Microsoft Kinect. . . . .	114
5.14. Mundo virtual e interfaces tangibles. . . . .	115
5.15. Actividad en el mundo virtual. . . . .	116
5.16. Ejemplo de actividad con Kinect y OpenSim. . . . .	116
5.17. Alumno interactuando con los tangibles. . . . .	117
5.18. Primer prototipo Virtual Touch Book. . . . .	123
5.19. Alumna interactuando con Virtual Touch Book. . . . .	126
5.20. Alumno interactuando con Virtual Touch Book. . . . .	126
5.21. Simulación Antigua Grecia en el mundo virtual. . . . .	127
5.22. Cuestionario de evaluación en el mundo virtual. . . . .	128
5.23. Elementos tangibles de PrimBox. . . . .	133
5.24. Estudiante personalizando su avatar. . . . .	134
5.25. Alumnos realizando las actividades usando PrimBox. . . . .	135
5.26. Avatar realizando actividad usando el tangible PrimBox. . . . .	136
5.27. Alumnos realizando la actividad de forma tradicional. . . . .	137
5.28. Virtual Touch FlyStick. . . . .	145
5.29. Alumno interactuando con FlyStick. . . . .	147
5.30. Comparativa FlyStick vs Tradicional. . . . .	148
5.31. Comparativa FlyStick vs Tradicional a posteriori. . . . .	150
5.32. Comparativa FlyStick vs Tradicional. . . . .	152
5.33. Alumna interactuando con tangibles y fiduciales. . . . .	154
5.34. Alumno seleccionando las figuras geométricas para actividad con OpenSim. . . . .	155
5.35. Alumno contando vértices y aristas para una actividad de geometría con OpenSim. . . . .	156

# Índice de tablas

2.1. Proyectos sobre mundos virtuales aplicados a la educación. . . . .	22
2.2. Proyectos sobre interfaces tangibles en la educación . . . . .	32
4.1. Comparativa Opensim vs Second Life. . . . .	77
5.1. Casos de estudio realizados. . . . .	92
5.2. Objetivos Educativos de Cúbica. . . . .	94
5.3. Componentes de Cúbica. . . . .	95
5.4. Cúbica: Resultados de la encuesta a 42 estudiantes. . . . .	103
5.5. Cúbica: Resultado de los tests por cursos. . . . .	104
5.6. Cúbica: Pros y contras. . . . .	106
5.7. Objetivos Educativos Virtual Touch Eye. . . . .	109
5.8. Componentes Virtual Touch Eye. . . . .	110
5.9. Objetivos Educativos Virtual Touch Book. . . . .	122
5.10. Componentes Virtual Touch Book. . . . .	124
5.11. Objetivos Educativos Virtual Touch PrimBox. . . . .	131
5.12. Componentes Virtual Touch PrimBox. . . . .	132
5.13. Resultados de la encuesta sobre mundos virtuales para experiencias PrimBox y FlyStick. . . . .	139
5.14. Cuestiones sobre usabilidad y experiencia de usuario de los estudiantes. . . . .	140
5.15. Resumen de algunos aspectos de la entrevista semiestructurada realizada a la profesora de Matemáticas. . . . .	141
5.16. Resultados estadísticos del tangible PrimBox. . . . .	142
5.17. Objetivos Educativos Virtual Touch FlyStick. . . . .	144
5.18. Componentes Virtual Touch FlyStick. . . . .	145
5.19. Resultados estadísticos del tangible FlyStick. . . . .	149
5.20. Resultados estadísticos del tangible FlyStick experiencia 2017. . . . .	151
5.21. Puntos fuertes y débiles Virtual Touch: PrimBox y FlyStick . . . . .	153

A MARIBEL



# 1 Introducción

Este capítulo muestra una visión global del trabajo desarrollado en esta tesis doctoral. El tema principal abordado consiste en el estudio, desarrollo y evaluación de una arquitectura basada en mundos virtuales e interfaces tangibles, que permite generar entornos de realidad mixta cuya aplicación ha sido dirigida al ámbito educativo. Se han llevado a cabo una serie de experiencias en centros educativos empleando esta arquitectura y se han analizado los resultados obtenidos. Al final de este capítulo se muestran las principales contribuciones de la tesis y la estructura de la memoria.

## 1.1. Motivación

Hoy en día, con el advenimiento de las nuevas tecnologías, los estudiantes están “conectados” resultando muy complicado captar su atención e incentivar su interés por aprender. Para ello, es necesario integrar las nuevas tecnologías en el aula, utilizar nuevas metodologías de trabajo y realizar actividades que les resulten atractivas, motivadoras y adaptadas a los nuevos tiempos.

El primer objetivo de esta tesis consiste en desarrollar una arquitectura que combine los mundos virtuales junto con las interfaces tangibles proporcionando un entorno de realidad mixta que permita desarrollar aplicaciones educativas de una forma rápida y sencilla. La arquitectura tiene que permitir la creación de aplicaciones educativas atendiendo a los conocimientos informáticos del educador. Según su nivel de conocimientos de informática cabe distinguir tres tipos de usuarios educadores: el usuario básico, el usuario intermedio y el usuario avanzado. El usuario básico podrá conectar el tangible y podrá realizar algunas configuraciones básicas de las aplicaciones educativas ya existentes. El usuario intermedio, que posee más conocimientos informáticos, además de conectar y configurar las interfaces tangibles podrá realizar cambios en algunos scripts que permitan la interconexión del tangible con el mundo virtual y en general modificar las aplicaciones educativas ya existentes para crear nuevas aplicaciones. El usuario

avanzado, que tiene elevados conocimientos de informática y programación, podrá crear sus propios scripts y además añadir, programar e integrar nuevas interfaces tangibles para otro tipo de dispositivos o tecnologías, permitiendo así la creación de aplicaciones educativas completamente novedosas.

El segundo objetivo consiste en mejorar y enriquecer los procesos de enseñanza-aprendizaje mediante el uso de entornos virtuales y mediante la interacción a través de las interfaces tangibles. Los mundos virtuales proporcionan un entorno tridimensional que permite la obtención de un aprendizaje significativo: el estudiante podrá sumergirse en un entorno que favorece la simulación de contextos realistas. Por ejemplo, el estudiante podría aprender la Antigua Grecia desde un entorno virtual tridimensional en el que a través de su avatar (su propia representación en el mundo virtual) puede interactuar con otros habitantes y puede explorar la cultura, las costumbres, los templos y las construcciones griegas más destacables. Los mundos virtuales son entornos excelentes para favorecer el aprendizaje significativo, combinando diferentes metodologías de trabajo en un contexto 'gamificado'.

Finalmente, el tercer y último objetivo consiste en probar las aplicaciones educativas así creadas en diferentes centros educativos reales, con el fin de evaluar la usabilidad, la efectividad y los beneficios obtenidos en el aprendizaje.

## 1.2. Hipótesis de investigación

Como consecuencia de los objetivos anteriormente planteados, el trabajo realizado en esta tesis doctoral se ha centrado en responder las siguientes hipótesis de investigación:

- **H1:** Las tecnologías de mundos virtuales pueden ser complementadas por tecnologías de interfaces tangibles para conseguir sistemas de realidad mixta.
- **H2:** Es posible definir una arquitectura que permita desarrollar aplicaciones educativas mediante realidad mixta, y que se adapte al nivel de conocimientos informáticos del educador responsable.
- **H3:** Las aplicaciones educativas realizadas mediante realidad mixta consiguen un aprendizaje más significativo.

## 1.3. Contribuciones de la tesis

Para responder a las anteriores hipótesis de investigación, y así alcanzar los objetivos planteados, se han realizado una serie de contribuciones científico-técnicas que se listan a continuación:

- Se ha revisado el estado del arte en las tres áreas tecnológicas que tienen relación con esta tesis: mundos virtuales, interfaces tangibles y realidad mixta.

- Se ha desarrollado e implementado una arquitectura que facilita la creación de actividades educativas combinando mundos virtuales e interfaces tangibles en un entorno de realidad mixta.
- Se han realizado experiencias educativas en las que se han analizado y evaluado los prototipos creados. Los centros educativos que han participado en las experiencias son:
  - Instituto de Educación Secundaria Joan Coromines (Benicarló, Castellón).
  - Florida Secundaria (Catarroja, Valencia).
  - Instituto de Educación Secundaria Ernest Lluch (Cunit, Tarragona)
  - Instituto de Educación Secundaria Narcís Oller (Valls, Tarragona)
- Se ha elaborado un listado de las necesidades y problemáticas a tener en cuenta durante el desarrollo de aplicaciones educativas que empleen realidad mixta, en base al estado del arte y a las experiencias llevadas a cabo. Además se han extraído conclusiones con respecto a los beneficios educativos que supone la realización de actividades de enseñanza-aprendizaje haciendo uso de los mundos virtuales combinados con las interfaces tangibles.
- Se ha participado en el proyecto de investigación eIntegra (financiado por el Plan Nacional de Investigación con la referencia TIN2013-44586) siendo el autor miembro del equipo de trabajo.

### 1.4. Listado de publicaciones

La investigación realizada forma parte del proyecto de Investigación eIntegra: e-Training y e-Coaching para la integración socio-laboral (TIN2013-44586-R del Ministerio de Economía y Competitividad de España) con las siguientes entidades participantes: Universidad Autónoma de Madrid, Universidad de Granada y Universidad Rey Juan Carlos. El proyecto TIN2013-44586-R se realizó entre el año 2014 y el año 2017 siendo Xavier Alamán Roldán el investigador responsable y siendo el autor de la tesis un miembro del equipo de trabajo.

A continuación se muestra un listado de publicaciones generadas a partir del trabajo de la tesis, ordenadas cronológicamente.

#### 1.4.1. Artículos con factor de impacto JCR

- Guerrero, G., Ayala, A., Mateu, J., Casades, L. & Alamán, X. (2016). Integrating Virtual Worlds with Tangible User Interfaces for Teaching Mathematics: A Pilot Study. *Sensors*, 16(11), 1775. **Índice JCR: 2.677, Q1 (10 de 58), ha recibido 4 citas (excluyendo autocitas).**

- Mateu, J., Lasala, M.J., & Alamán, X. (2015). Developing Mixed Reality Educational Applications: The Virtual Touch Toolkit. *Sensors*, 15(9), 21760-21784. **Índice JCR: 2.033, Q1 (12 de 56), ha recibido 5 citas (excluyendo autocitas).**
- Mateu, J., Lasala, M.J. & Alamán, X. (2014) VirtualTouch: A tool for developing mixed reality educational applications and an example of use for inclusive education. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 30, 815-828. **Índice JCR: 0.850, Q3 (16 de 24), ha recibido 19 citas (excluyendo autocitas).**
- Mateu, J. & Alamán, X.(2013). CUBICA: An Example of Mixed Reality. *Journal of Universal Computer Science (J.UCS)* 19(17), 2598-2616. **Índice JCR: 0.401, Q4 (89 de 102), ha recibido 4 citas (excluyendo autocitas).**

#### 1.4.2. Artículos publicados en actas de congreso

- Alamán, X., Mateu, J., & Lasala, M.J.(2016). Designing virtual world educational applications. En *2016 IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON 2016, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 10-13 Abril, 2016*, IEEE, 1134-1137. **Ha recibido 2 citas (excluyendo autocitas).**
- Ayala, A., Guerrero, G., Mateu, J., Casades, L., & Alamán, X.(2015). Virtual Touch FlyStick and PrimBox: Two Case Studies of Mixed Reality for Teaching Geometry. En *9th International Conference on Ubiquitous Computing & Ambient Intelligence (UCAmI 2015), Puerto Varas, Chile, 1-4 Diciembre 2015*, Lecture Notes in Computer Science (LNCS). Springer International Publishing, vol 9454, 309-320. **Ha recibido 2 citas (excluyendo autocitas).**
- Mateu, J., Lasala, M.J. & Alamán, X. (2014). Virtual Touch Book: A Mixed-Reality Book for Inclusive Education. En *8th International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence (UCAmI 2014), Belfast, Northern Ireland, 2-5 Diciembre 2014*, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Springer International Publishing, vol 8867, 124-127. **Ha recibido 4 citas (excluyendo autocitas).**
- Mateu J. & Alamán, X. (2013). Tangible Interfaces and Virtual Worlds: A New Environment for Inclusive Education. En *7th International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence (UCAmI 2013), Guanacaste, Costa Rica, 2-6 Diciembre 2013*, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Springer International Publishing, vol 8276, 119-126. **Ha recibido 8 citas (excluyendo autocitas).**
- Mateu J. & Alamán, X. (2012). An Experience of Using Virtual Worlds and Tangible Interfaces for Teaching Computer Science. En *6th International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence (UCAmI 2012), Vitoria-Gasteiz, Spain, 3-5 Diciembre 2012*, Lecture Notes in Computer Science (LNCS),



Springer International Publishing, vol 7656, 478-485. **Ha recibido 1 cita (excluyendo autocitas).**

### 1.4.3. Capítulos de libro

- Mateu J., Lasala, M.J., Alamán X. (2012). Education for the inclusion using Virtual Worlds: an experience using OpenSim. *Technologies for Inclusive Education*, David Griol et al. (Eds.), Information Science Reference, Hershey, Pennsylvania (USA), 122-146. **Ha recibido 1 cita (excluyendo autocitas).**

## 1.5. Estructura de la tesis

La tesis está estructurada de la siguiente manera:

- **Capítulo 1. Introducción.** Este primer capítulo es de carácter introductorio y muestra la motivación para la realización de esta tesis junto con las contribuciones más relevantes y el listado de las principales publicaciones realizadas a partir del trabajo de investigación realizado.
- **Capítulo 2. Estado del arte.** El segundo capítulo muestra una revisión del estado del arte relativo a los mundos virtuales, a las interfaces tangibles y a la realidad mixta como combinación de los mundos virtuales y las interfaces tangibles. En la revisión del estado del arte de estas tres áreas principales de la tesis se muestran tanto las definiciones, como las características principales y se citan los proyectos educativos más relevantes.
- **Capítulo 3. Aspectos metodológicos.** El tercer capítulo muestra la metodología de investigación que se ha seguido para desarrollar esta tesis, que está basada en fases secuenciales en las que, partiendo de la identificación del problema, se acomete la definición de los objetivos, la realización del diseño y el desarrollo de un prototipo. Posteriormente, se realiza la demostración y la evaluación del prototipo para finalizar con la comunicación de los resultados a la comunidad científica.
- **Capítulo 4. Arquitectura.** El cuarto capítulo se centra en el diseño y la implementación de la arquitectura, cuyo principal objetivo es desarrollar aplicaciones educativas basadas en mundos virtuales e interfaces tangibles de una forma sencilla y adaptada a diferentes tipos de usuarios educadores en base a sus conocimientos de informática y electrónica.
- **Capítulo 5. Trabajo experimental.** En el quinto capítulo se describe cada una de las experiencias llevadas a cabo en diferentes centros educativos de educación secundaria y ciclos formativos. En cada experiencia se indican los principales objetivos, educativos y técnicos, se describe el desarrollo de la experiencia y se analizan los resultados obtenidos.

- **Capítulo 6: Conclusiones.** En el sexto y último capítulo se muestran las conclusiones obtenidas en base a las experiencias realizadas. Además, se plantean las líneas futuras de trabajo y de investigación en el ámbito abordado en esta tesis.



## 2 Estado del arte

En esta tesis se ha desarrollado una arquitectura que permite la creación de actividades educativas en un entorno virtual tridimensional y cuya interacción se realiza mediante el uso de interfaces de usuario tangibles.

Los mundos virtuales ofrecen un entorno de aprendizaje simulado que favorece la recreación virtual de escenarios, permitiendo obtener experiencias de aprendizaje enriquecedoras. La interacción con los mundos virtuales se lleva a cabo mediante la utilización de interfaces de usuario tangibles que permiten una interacción más natural, intuitiva y familiar debido a la manipulación directa de los artefactos tangibles.

Como se demostrará más adelante, la combinación de los mundos virtuales junto con las interfaces tangibles aplicadas al ámbito educativo proporcionan multitud de beneficios en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes.

En este capítulo se estudia el estado del arte de las tres áreas tratadas en esta tesis: mundos virtuales, interfaces tangibles y realidad mixta. La realidad mixta es el resultado de la combinación de los mundos virtuales, considerados como entornos de aprendizaje tridimensionales, interactivos, multiusuario y colaborativos, junto con las interfaces tangibles, que permiten una interacción con el ordenador más sencilla, natural, intuitiva y accesible. En las tres áreas se muestran las definiciones, las principales características, y los beneficios pedagógicos que aportan al ámbito educativo, así como los proyectos educativos más relevantes en cada una de ellas.

### 2.1. Mundos virtuales en la educación

Los mundos virtuales son entornos virtuales multiusuario que ofrecen la posibilidad de crear escenarios donde los avatares (representaciones de los usuarios dentro del mundo virtual) pueden comunicarse, interactuar y colaborar en tiempo real, permitiendo un amplio abanico de aplicaciones dirigidas a diferentes ámbitos.

Los mundos virtuales pueden utilizarse como espacios de socialización, de reunión en línea, con finalidades comerciales, como herramienta de ocio o con fines educativos. Especialmente destacamos el ámbito educativo debido a la gran cantidad de experiencias de aprendizaje que pueden producirse dentro del mundo virtual y que son difíciles de llevar a cabo en el mundo real. Entre estas experiencias de aprendizaje podemos encontrar desde la realización de eventos, reuniones, actividades de investigación y exploración hasta incluso actividades de simulación. Los mundos virtuales como espacios inmersivos tridimensionales nos permiten realizar actividades educativas mediante la simulación de situaciones reales que requieran de una toma de decisiones de importante transcendencia, como por ejemplo la simulación de un accidente de tráfico o la simulación de una intervención quirúrgica. La realización de simulaciones dentro de un entorno virtual ofrece la posibilidad de poner en práctica los conocimientos adquiridos de una forma segura, controlada y sin consecuencias en el mundo real.

En esta tesis se han aplicado los mundos virtuales al sector educativo, concretamente a la educación secundaria Obligatoria (con estudiantes de edades comprendidas entre los 12 y los 16 años), al Bachillerato (de 16 a 18 años) y a los ciclos formativos de Grado Medio (desde los 16 años).

### **2.1.1. Antecedentes de los mundos virtuales**

En este apartado se describen los antecedentes históricos previos a la aparición de los mundos virtuales, en los que los juegos de rol ya disponían de algunas de las características que poseen hoy en día los mundos virtuales.

El primer concepto relacionado con los videojuegos fue el de MUD (Multi-User Dungeon) [1], que está asociado a los juegos multiusuario y de rol basados en interfaces textuales y cuyo nombre hace referencia al popular juego de mesa Dungeons & Dragons. Durante el paso de los años el término MUD evolucionó, apareciendo el término MMOG (Massively MultiPlayer Online Games), que se refiere a los videojuegos de diversos géneros con gran número de jugadores simultáneos conectados a la red. Posteriormente, como variante del término MMOG, apareció el término MMORPG (Massively Multiplayer Online Role-Playing Game) [2], que hace referencia a la concurrencia de un número muy alto de usuarios jugando en línea, como ocurre en los videojuegos de rol Neverwinter Nights (basado en el clásico juego Dungeons & Dragons), EverQuest o el popular World of Warcraft. Éste último supuso una revolución en la industria de los videojuegos debido a que el juego de rol incluía gráficos 3D, una interacción intensa entre los usuarios y una sensación de comunidad entre ellos.

Los conceptos anteriores tienen características comunes que también están presentes en los mundos virtuales, como por ejemplo la concurrencia e interacción entre los usuarios y, en los últimos casos, los gráficos tridimensionales. Pero por contra, hay una diferencia destacable en cuanto al objetivo de los videojuegos frente a los mundos virtuales. En el caso de los videojuegos, el propósito normalmente es llevar a cabo

una determinada misión: matar a los enemigos, conseguir recompensas, superar un determinado nivel o fase; todo con el objetivo de divertir y entretener al usuario. En cambio, en el mundo virtual no hay ningún tipo de misión específica a priori ni existen condicionantes con relación a la persistencia del usuario en el propio mundo virtual.

Como desarrollo paralelo, destacamos los entornos orientados a la educación que, a diferencia de los videojuegos, no tienen como objetivo principal el entretenimiento. El término MMOLE (Massively Multi-student online learning environment) hace referencia a los espacios inmersivos de aprendizaje donde los estudiantes se reúnen con el fin de realizar actividades educativas bajo la premisa de 'aprender haciendo'. En estos espacios de aprendizaje los estudiantes interaccionan con otros usuarios en tiempo real y disponen de un instructor que les guía en el proceso de aprendizaje.

Finalmente, aparece el término MUVE (Multi-user Virtual Environment) [3] que se refiere a los entornos tridimensionales virtuales multiusuario que también se llaman metaversos y que ya corresponden a los mundos virtuales propiamente dichos, como Second Life, Active Worlds u OpenSimulator. A diferencia de los anteriores, en estos entornos no hay un objetivo definido a priori, consistiendo en espacios de interacción, exploración y creación de recursos donde se pueden llevar a cabo diferentes tipos de actividades de enseñanza-aprendizaje. Los mundos virtuales son entornos adecuados para la formación semipresencial y a distancia en los que se dispone de multitud de recursos dentro de un aula o campus virtual.

### 2.1.2. Definición de mundo virtual

Una vez mostrada la evolución de los conceptos relacionados con los videojuegos, a continuación vamos a discutir las primeras definiciones y características del término 'mundo virtual' como una evolución de los conceptos citados anteriormente.

Una de las primeras definiciones sobre el término "mundo virtual" sería la propuesta por Castronova [4] en la que se refiere a "mundos sintéticos" (synthetic worlds) que constituyen espacios virtuales similares al mundo real diseñados para alojar a una gran cantidad de usuarios, y cuyo mantenimiento y representación se realiza a través del ordenador.

Una definición complementaria a la anterior es la propuesta por Bell [5] en la que se considera que un mundo virtual es una red síncrona y persistente de personas representadas mediante avatares y conectadas mediante un conjunto de ordenadores en red. En esta definición aparecen los conceptos "síncrono", "persistente" y "red de personas", que especifican las características que debe tener un mundo virtual. El término "síncrono" indica el tipo de comunicación que tiene lugar en los mundos virtuales, basado en la interacción entre los avatares, entre los que la comunicación se produce en tiempo real dentro un mismo espacio compartido. El término "persistente" se refiere al hecho de que el mundo virtual siempre existe independientemente de que los ava-

tares estén disponibles o no en un momento determinado. Dentro de una comunidad dinámica que está en constante evolución, cada miembro es un elemento más sin que ningún avatar sea el centro de atención ni tenga más privilegios que el resto de avatares. Los mundos virtuales, a diferencia de los juegos en línea, son espacios de interacción que disponen de avatares que pueden estar siempre presentes y disponibles, y que no cuentan con unos objetivos específicos definidos por el creador del mundo virtual. El último término, “red de personas”, hace referencia a una comunidad activa y dinámica que se comunica e interactúa dentro del mundo virtual. Respecto a esta característica cabe destacar que sería similar a la de los juegos de rol en línea en cuanto a la cantidad de usuarios que pueden interactuar en el mundo virtual en un mismo instante.

De acuerdo con Schroeder [6], los mundos virtuales son entornos virtuales persistentes donde las personas experimentan e interactúan entre ellas con una sensación de presencia dentro de dicho entorno. En esta definición se puede destacar la característica de sensación de presencia, que correspondería con la capacidad de inmersión o de “telepresencia” dentro de un mundo virtual.

Siguiendo con las definiciones, otra destacable sería la propuesta por de Freitas [7], que define un mundo virtual como un entorno interactivo representado en tres dimensiones o mediante gráficos animados y que puede ser usado por muchos usuarios al mismo tiempo.

Una vez vistas las principales definiciones de mundo virtual, a continuación vamos a describir las principales características que debe tener un mundo virtual.

Dickey [8] destaca tres características que deberían tener los mundos virtuales: la ilusión del espacio tridimensional, los avatares como representaciones de los usuarios y un chat interactivo para que los usuarios se puedan comunicar.

En un enfoque más amplio, Atkins [9] sugiere que un mundo virtual tiene las siguientes características:

- **Inmersivo.** Los mundos virtuales deben ofrecer una sensación de presencia lo más realista posible. Para ello, se cuenta con objetos, texturas, sonidos ambientales, etc., que crean un entorno simulado muy realista que favorece que el usuario tenga la sensación de “estar realmente allí”.
- **Interactivo.** Los mundos virtuales deben permitir la comunicación en tiempo real. Para ello, los mundos virtuales disponen de chats de texto y de voz, como también la posibilidad de ver y escuchar diferentes elementos multimedia (imágenes, sonidos y vídeos).
- **Personalizable.** El mundo virtual debe ser un espacio creativo, diverso y personalizable. Para ello debe ofrecer la posibilidad de construir y transformar objetos y terrenos. Además, debe permitir la opción de protegerlos a través de licencias y posiblemente permitir realizar compraventa de objetos mediante el intercambio de monedas virtuales.

- **Accesible.** El mundo virtual debe ser accesible a todas las personas, independientemente de sus características. A pesar de ello, los mundos virtuales pueden tener ciertas restricciones. Por ejemplo, Second Life no permite el acceso a usuarios menores de edad. Por un lado, existen instituciones (por ejemplo, algunas universidades) que disponen de áreas abiertas a todos los usuarios y que permiten el acceso a todas las instalaciones y recursos virtuales, y por otro lado también existen entornos virtuales educativos con gestión privada, y que por tanto no están accesibles a todos los usuarios.
- **Programable.** Los mundos virtuales deben permitir añadir comportamiento a los objetos haciendo uso de lenguajes de programación específicos. Por ejemplo, Second Life y OpenSim disponen del lenguaje de programación Linden Scripting Language que permite añadir funcionalidad y comportamiento a los objetos presentes en el mundo virtual.

Otra perspectiva diferente sería centrarse en las características que se deberían tener en cuenta a la hora de evaluar un entorno virtual. Según de Lucía [10], la evaluación de la eficacia de un entorno virtual multiusuario se basa principalmente en los siguientes factores: presencia, consciencia, comunicación y sentido de pertenencia a una comunidad.

Analizando los cuatro factores anteriores, respecto a la “presencia” es muy evidente el realismo que proporciona un entorno tridimensional: la interacción de los avatares con el entorno hace que la sensación de inmersión sea total.

Por otro lado, el factor de “consciencia” está relacionado con el hecho de que el mundo virtual permite saber qué está haciendo cada avatar, simplemente observándolo. En el factor de “consciencia” un aspecto clave es la comunicación no verbal basada en la situación, postura, movimientos e incluso gestos del avatar. Los usuarios pueden personalizar su avatar y pueden crear un fuerte vínculo entre su representación virtual en forma de avatar y ellos mismos en la realidad.

El factor de “comunicación” es un aspecto importante en los mundos virtuales: resulta importante la combinación de la comunicación verbal junto con la comunicación no verbal para dar una mayor información del avatar, como por ejemplo su estado afectivo o emocional. El avatar puede expresarse no solo con el chat de texto y de voz sino también puede expresarse mediante gestos, posturas y emociones que le dotan de un mayor realismo, mejorando la experiencia y facilitando la inmersión del usuario en el mundo virtual.

Por último, el factor de “pertenencia a una comunidad de aprendizaje” está relacionado con una tendencia natural de todas las personas a necesitar sentirse “parte del grupo”. Así, en los entornos educativos multiusuario las personas están interesadas en adquirir conocimientos, pero también les interesa sentirse involucradas y apoyadas por una comunidad en la que puedan expresarse, aportando y compartiendo información

útil para el grupo.

Por otro lado, los mundos virtuales pueden clasificarse atendiendo al uso que se les va a dar. Pueden tener principalmente tres tipos de usos: espacio comunicativo, simulación del espacio y espacio experimental [8].

El uso como espacio comunicativo se refiere al hecho de explotar las diferentes herramientas para la comunicación tanto verbal como no verbal que ocurren dentro de un mundo virtual. La comunicación verbal se lleva a cabo a través del chat mientras que la comunicación no verbal se realiza mediante la apariencia del avatar, los gestos y las posturas del avatar (Robbins [11]). Los avatares son las representaciones de los usuarios dentro del mundo virtual y sus interacciones pueden facilitar las habilidades de comunicación social, verbal y no verbal (Babu et al. [12]).

En segundo lugar, encontramos el uso basado en la simulación del espacio, donde se utiliza el mundo virtual como lugar de encuentro, con la simulación de contextos o lugares reales como puede ser un campus universitario, un teatro, una biblioteca, un hotel, una discoteca o un hospital.

El tercer tipo de uso sería como espacio experimental. Si nos centramos, por ejemplo, en el ámbito educativo, este uso lo que permite es que el alumno experimente y realice diferentes prácticas y proyectos pertenecientes a una determinada formación específica. En este caso los estudiantes pueden realizar actividades de aprendizaje basadas en metodologías como la PBL (Problem Based Learning), en la que se resuelven ciertas cuestiones o problemas mediante un proceso de indagación en el que el estudiante es el protagonista de su propio aprendizaje.

Una clasificación alternativa de los mundos virtuales atendiendo al uso que se hace de ellos es la propuesta por Warburton [13]:

- **Narrativa flexible.** Se refiere a mundos virtuales donde el usuario es un personaje con un rol definido y tiene un objetivo concreto. El diseñador establece las restricciones, las reglas y los objetivos a alcanzar. Por ejemplo, se destaca el proyecto the River City. En este caso el mundo virtual está muy cerca de ser un videojuego.
- **Mundo virtual social.** Se refiere a mundos virtuales como lugares para la interacción social. Por ejemplo, destacan Second Life, Habbo Hotel y Sims Online.
- **Simulación.** Se refiere a mundos virtuales cuya representación es exactamente la del mundo real, siguiendo sus mismas normas. Como ejemplo, podemos destacar NetworkGoogle Earth.
- **Espacio de trabajo.** Se refiere a los mundos virtuales que proporcionan un espacio de trabajo con el objetivo de realizar actividades colaborativas. Son destacables Project Wonderland, Olive y Open Croquet.



Dentro del ámbito educativo, los mundos virtuales se pueden clasificar según el tipo de actividades educativas que se desarrollan en ellos. De una manera destacada cabe mencionar las actividades educativas dirigidas a la enseñanza y aprendizaje de idiomas dentro de un mundo virtual. Cada vez hay un mayor número de docentes que aprovechan el potencial que tiene el mundo virtual para la enseñanza de idiomas y de segundas lenguas. Los docentes pueden sacar provecho de las herramientas de chat (texto y de voz), de la interactividad con otros avatares y del entorno tridimensional, que resulta idóneo para realizar simulaciones y actividades de juego de roles. Hay muchos proyectos europeos en esta área en los que participan centros educativos junto con universidades y entidades colaboradoras.

### 2.1.3. Desarrollo de los mundos virtuales

A partir del año 1970, los mundos virtuales empezaron a tener una mayor popularidad y cada vez se dedicaban más esfuerzos en su investigación, uso e implantación en ambientes educativos. Entre otros, cabe mencionar mundos virtuales como Active Worlds, Project Wonderland, AppEdTech o Second Life. Especialmente destacó Second Life, siendo en el año 2011 el mundo virtual más popular y con mayor grado de madurez dentro del entorno educativo (Dickey [14]).

Actualmente ha descendido el uso de Second Life en los ámbitos académicos debido principalmente a la aparición de opciones alternativas de código abierto como OpenSimulator, que además son aptas para alumnado de educación secundaria cuya edad está por debajo de los 18 años. OpenSimulator permite la creación de un servidor de mundos virtuales propio y que esté accesible únicamente a los usuarios que se desea que se conecten. Por otro lado, han irrumpido otras plataformas interesantes como son Minecraft [15] y Unity 3D [16].

Minecraft [15] es un videojuego muy popular que dispone de una versión educativa en la que el acceso está controlado y ofrece una amplia gama de recursos para los docentes, como son pizarras interactivas, personajes personalizables, cámara, portfolio para recoger evidencias en el aprendizaje, etc. Minecraft permite realizar actividades colaborativas bajo un aprendizaje inmersivo y significativo. Al igual que ocurre en OpenSim, Minecraft permite aplicar diferentes metodologías pedagógicas, como por ejemplo el aprendizaje basado en proyectos. Las principales diferencias entre Minecraft y OpenSim residen en la representación del entorno, debido a que todas las construcciones de Minecraft están realizadas con bloques, ofreciendo una representación menos realista que la que brinda OpenSim. Por otro lado, otra desventaja de Minecraft en la versión educativa es que cada estudiante debe pagar una cantidad para obtener una licencia anual, mientras que OpenSim es totalmente gratuito y de código abierto. Cabe destacar que Minecraft, en su versión educativa, está preparado para recoger evidencias del aprendizaje y del progreso de los estudiantes. Aunque OpenSim no ofrece de entrada estos recursos, se pueden crear de una forma relativamente sencilla mediante la programación de los objetos adecuados.

Unity [16] es un motor de videojuegos multiplataforma que permite la creación de juegos interactivos en dos y tres dimensiones. Unity permite la programación de las reglas y las dinámicas del juego y tiene un enorme potencial que puede ser aplicado en el sector educativo mediante la realización de actividades basadas en juegos serios (serious games), que permiten un aprendizaje lúdico. Sin embargo, Unity está orientado a programadores, y no permite que usuarios de nivel básico o intermedio creen de manera sencilla sus propios mundos virtuales educativos. Como se verá posteriormente, OpenSim sí cubre esa necesidad.

Con el auge de la realidad virtual han aparecido multitud de proyectos interesantes como el proyecto Sansar [17], creado por Linden Labs, que adapta Second Life a la realidad virtual inmersiva utilizando las gafas Oculus Rift [18]. Sin embargo, el proyecto Sansar no incluye tecnologías multimodales que permitan capturar y representar las expresiones faciales para mejorar la inmersión en este tipo de entornos de realidad virtual, como sí hace su competidor High Fidelity.

High Fidelity [19] es una plataforma de última generación para la creación de mundos virtuales que permite, entre otras cosas, reproducir las expresiones faciales del usuario en su avatar, además de reflejar el movimiento del cuerpo y la cabeza del usuario. También permite la interacción con multitud de dispositivos como Oculus Rift [18], Leap Motion [20] y Microsoft Kinect [21]. High Fidelity dota a los avatares de seguimiento ocular de una forma muy realista permitiendo mantener el contacto visual. Aunque High Fidelity está todavía en sus comienzos, es una plataforma para mundos virtuales muy prometedora, a la que habrá que seguir con atención en el futuro.

#### **2.1.4. Enfoque pedagógico de los mundos virtuales**

Esta tesis está enfocada principalmente en el uso de los mundos virtuales desde la perspectiva educativa. Para ello se deben evaluar los beneficios pedagógicos que tienen los mundos virtuales en la enseñanza.

Los mundos virtuales son una excelente herramienta para facilitar el proceso de enseñanza y aprendizaje mediante un enfoque constructivista [22], debido a que permiten al estudiante desarrollar su propio conocimiento y trabajar colaborativamente con el resto de estudiantes, consiguiendo un aprendizaje auténtico y significativo.

La metodología constructivista propone que el estudiante construya su propio conocimiento y entendimiento del contenido aprovechando el conocimiento previo. Vygotsky [23] discute la necesidad del juego en el proceso de enseñanza y aprendizaje para asegurar la participación activa del usuario y la motivación, de forma que el aprendizaje llegue a producirse. El aprendizaje ocurre primero en el nivel social mediante las comunicaciones y colaboraciones con otras personas y luego en el nivel individual (Vygotsky[23]).

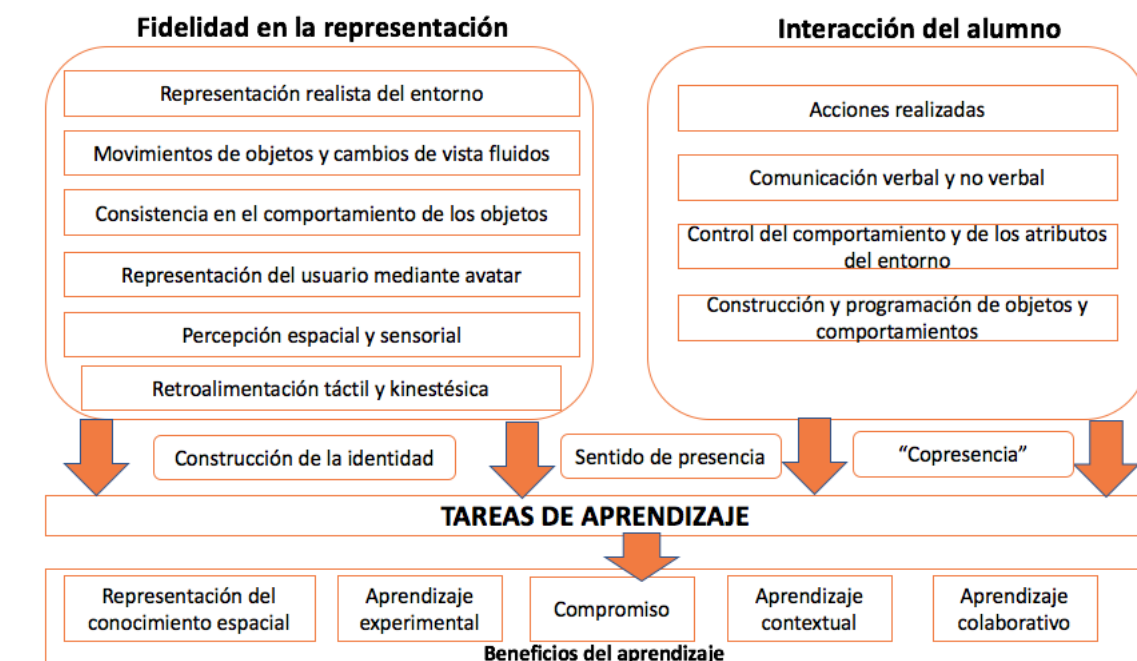
Según Warburton y Pérez García [24] los mundos virtuales permiten la innovación pedagógica mediante:

- **Interacciones ricas y extendidas.** Los mundos virtuales son espacios adecuados para la comunicación y la interacción. En los mundos virtuales se pueden producir las siguientes interacciones:
  - Interacciones sociales entre individuos y comunidades.
  - Interacciones entre los avatares y los objetos presentes.
  - Interacciones inteligentes entre los propios objetos presentes en el mundo virtual.
- **Visualización y contextualización.** Los mundos virtuales permiten la creación y reproducción de contenido que sería inaccesible de otras formas, debido a la distancia, a su deterioro, a su elevado coste, a su carácter futurista o a su naturaleza que le hace imposible de ser percibido por el ojo humano.
- **Exposición cultural y contenido auténtico.** Los mundos virtuales facilitan la exposición de contenido auténtico y realista. Los avatares pueden visitar de forma remota exposiciones, ferias, museos y cualquier evento cultural con una reproducción fiel a la realidad.
- **Identidad.** Los mundos virtuales permiten que los avatares dispongan de una identidad propia y colectiva que puede ser condicionada a factores sociales, culturales o a simulaciones mediante juego de roles.
- **Inmersión.** Los mundos virtuales son entornos tridimensionales que permiten tener un sentido de la presencia mediante los avatares. Los avatares disponen de diferentes modos de comunicación que tienen un impacto en la motivación, en la empatía y en la afectividad. La comunicación realizada por los avatares en los mundos virtuales tiene un impacto emocional y afectivo sobre el individuo que, debido al realismo del entorno y a su inmersión, facilita la expresión de sentimientos de los usuarios.
- **Simulación.** Los mundos virtuales permiten reproducir contextos que son costosos de representar en la vida real, con la ventaja de no tener las restricciones y las barreras físicas presentes en la realidad.
- **Presencia de comunidades.** Los mundos virtuales facilitan un sentido de pertenencia y compromiso dentro de una gran variedad de grupos, subculturas y situaciones geográficas.
- **Producción de contenido.** Los mundos virtuales ofrecen oportunidades para la creación y propiedad del entorno de aprendizaje y de los objetos presentes en él. Los avatares pueden crear sus propios recursos durante el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Los mundos virtuales son una herramienta que proporciona la posibilidad de obtener un alto grado de compromiso de los estudiantes, ofreciendo la capacidad de explorar, construir y manipular objetos virtuales, así como de crear representaciones de situaciones complejas (Dalgarno y Lee [25]). Estos autores indican los siguientes beneficios para el aprendizaje que pueden tener los entornos virtuales tridimensionales:

- Facilitar las tareas de aprendizaje que conducen al desarrollo de la representación mejorada del conocimiento espacial del dominio explorado. De esta manera, el estudiante puede construir su propio conocimiento mediante la experimentación y exploración, como se propone en las teorías de aprendizaje propuestas por Piaget [22] y Jonassen [26].
- Facilitar las tareas de aprendizaje basadas en experiencias difíciles de llevar a cabo en la realidad. Muchos de los conceptos objeto de aprendizaje son abstractos y son difíciles de representar en la realidad. En muchas ocasiones es más fácil representar y simular dichos conceptos abstractos en un mundo virtual tridimensional.
- Favorecer las tareas de aprendizaje relacionadas con el compromiso y la motivación.
- Facilitar las tareas de aprendizaje que permiten mejorar la transferencia de conocimientos y habilidades a situaciones reales mediante la contextualización del aprendizaje. Los mundos virtuales permiten participar simultáneamente en diferentes tareas compartidas y posibilitan la realización de experiencias colaborativas con una interdependencia positiva dentro de un grupo de aprendizaje.
- Facilitar la realización de actividades colaborativas de una forma más efectiva con respecto a alternativas en dos dimensiones.

En la figura 2.1 vemos una adaptación del modelo de aprendizaje elaborado por Dalgarno y Lee [25] en la que aparece la representación del avatar junto con sus percepciones y las interacciones con el entorno. Los entornos virtuales tridimensionales presentan una serie de ventajas en el aprendizaje con respecto a los recursos informáticos en dos dimensiones. Los beneficios que ofrecen los entornos virtuales tridimensionales tienen que ver con que una representación más realista facilitará la inmersión del estudiante: de esta forma el aprendizaje será más significativo. Por ejemplo, cuanto mayor objetividad y fidelidad tenga el entorno virtual tridimensional habrá una mayor sensación de presencia y esto conllevará a una mayor transferencia del conocimiento. La interactividad que ofrecen dichos entornos virtuales da como resultado un mayor aprendizaje espacial que otros entornos o recursos no ofrecen (una imagen o un vídeo). La fidelidad de la representación de un entorno virtual y las acciones corporales facilitan la construcción de una identidad más rica y con mayor sentido de copresencia, que a su vez genera un aprendizaje colaborativo más efectivo.



**Figura 2.1.** Modelo aprendizaje en entornos virtuales 3D  
Adaptación de la imagen original de [25].

Según Dede [27] los entornos virtuales tridimensionales proporcionan entornos seguros en los que los estudiantes pueden realizar actividades prácticas mediante la premisa de 'aprender haciendo' (learning by doing). Cualquier tipo de acción que ocurra dentro de un entorno virtual tiene una consecuencia segura, controlada y sin ningún tipo de peligro real, siendo apta para cualquier alumno que necesite poner en práctica su aprendizaje sin arriesgarse a consecuencias reales. Los mundos virtuales, mediante la socialización, la visualización y la imitación, son entornos adecuados que facilitan la realización de estrategias basadas en el aprendizaje situado (situated learning).

Los mundos virtuales son entornos ideales para realizar actividades comunicativas y sociales que pueden proporcionar a los niños una oportunidad para probar interacciones sociales alternativas y reflexionar sobre sus sentimientos y pensamientos (Sheehy y Ferguson [28]).

De esta manera, los mundos virtuales son entornos de aprendizaje idóneos para atender a los alumnos con necesidades educativas especiales mediante la educación inclusiva, debido a que la interacción mediante avatares en un entorno simulado hace que en cierta medida desaparezcan las etiquetas sociales que impiden una correcta socialización con el resto de estudiantes. Por ejemplo, el proyecto 'Accessibility in Virtual Worlds' es un proyecto que utiliza el mundo virtual Active Worlds y está dirigido a estudiantes invidentes para que puedan interactuar con el resto de compañeros. Para ello, se indicaban las posiciones mediante sonidos y de esta forma se facilitaba la navegación a los estudiantes invidentes (Sheehy [29]). Otro ejemplo, sería la isla virtual de Brigadoon creada en Second Life y dirigida a estudiantes con autismo. Según Bieber

[30], los mundos virtuales son un tipo de medio que proporciona características beneficiosas para las personas con autismo. Estos estudiantes suelen presentar problemas de socialización y de contacto visual que en un mundo virtual desaparecen, de manera que pueden sentirse más cómodos.

Se puede realizar una clasificación de los mundos virtuales aplicados a la educación en base a seis dimensiones:

- **Tipo de población.** A quién va dirigido y qué tipo de usuarios interactuarán en el mundo virtual. Por ejemplo, pueden ser estudiantes de Medicina, de Historia o estudiantes de educación secundaria.
- **Actividades educativas.** Los mundos virtuales se pueden diferenciar según el tipo de actividad que se va a desarrollar dentro del mundo virtual. Por ejemplo, realizar la simulación de una excavación arqueológica para ver los procesos involucrados, simular una intervención quirúrgica en una sala de operaciones, etc.
- **Teorías de aprendizaje.** Dependiendo de la teoría del aprendizaje en que se base el mundo virtual, como puede ser el aprendizaje constructivista o el aprendizaje colaborativo.
- **Entorno de aprendizaje.** Esta dimensión corresponde al lugar simulado donde se lleva a cabo el aprendizaje. Por ejemplo, dentro de un templo o dentro de una población del siglo pasado.
- **Tecnologías utilizadas.** Los mundos virtuales se podrían clasificar atendiendo a las tecnologías utilizadas, por ejemplo si se utiliza audio para la comunicación entre avatares o si se usan dispositivos táctiles.
- **Áreas de investigación.** Esta dimensión se aplica a los mundos virtuales desarrollados en el ámbito de la investigación académica. El énfasis puede estar en aspectos tecnológicos, en aspectos pedagógicos, o en ambos.

Se puede realizar otra clasificación en base a los tipos de actividades que se pueden llevar a cabo dentro de los mundos virtuales educativos (Livingston y Kemp [31]):

- Simulaciones de situaciones de la vida real (juego de roles o simulación).
- Trabajo colaborativo en equipo y construcciones grupales.
- Presentaciones y eventos.
- Actividades de construcción y diseño de objetos 3D.

Duncan et al. [32] muestran los tipos de actividades educativas que se pueden llevar a cabo dentro de los mundos virtuales especificando algunos métodos de enseñanza-aprendizaje usados hoy en día.

- Aprendizaje basado en problemas (PBL: Problem Based Learning).

## 2.1. MUNDOS VIRTUALES EN LA EDUCACIÓN

---

- Aprendizaje basado en cuestiones y preguntas (Enquiry Based Learning).
- Aprendizaje basado en juegos (GBL: Game Based Learning).
- Aprendizaje basado en roles (juego de roles) (Role Playing).
- Búsqueda o investigación virtual o misiones virtuales (Virtual Quest).
- Simulaciones colaborativas (aprender por simulación).
- Construcción colaborativa (actividades de construcción).
- Cursos específicos (diseño, moda, arquitectura, etc.).
- Enseñanza y aprendizaje de idiomas.
- Laboratorios virtuales.
- Trabajo virtuales de campo.
- Asistencia a clases o conferencias.

Respecto a los distintos tipos de actividades educativas citadas anteriormente, cabe destacar el aprendizaje de idiomas, donde un mundo virtual proporciona un entorno tridimensional adecuado para simular países y culturas extranjeras e interactuar con hablantes nativos mediante sus avatares. Se reduce la ansiedad en los estudiantes más tímidos, debido a que se reduce el contacto visual directo, consiguiéndose una participación más activa. Se proporciona una experiencia más significativa, en la que se pueden realizar tareas basadas en situaciones del mundo real que en el futuro tendrán que afrontar.

Una técnica utilizada en algunos de los métodos de enseñanza-aprendizaje anteriores es el machinima. El machinima es una técnica de producción audiovisual que permite la grabación de interacciones y experiencias producidas en los mundos virtuales. Con esta técnica, además de idiomas, se pueden aprender otras competencias, como por ejemplo la narrativa de historias mediante el juego de roles.

Como se puede observar, una de las grandes ventajas que tienen los mundos virtuales radica en la cantidad de aplicaciones didácticas que se pueden llevar a cabo en ellos. En general, fomentan el aprendizaje activo, donde el alumno es una parte importante del proceso de enseñanza y aprendizaje y no solo un mero receptor pasivo de información. El estudiante lleva el control de su propio aprendizaje y el profesor sólo le va guiando en el proceso. Los mundos virtuales fomentan la creatividad, la imaginación, facilitan la reflexión y el espíritu crítico, fomentan las habilidades sociales mediante las interacciones dentro del mundo virtual y aumentan la motivación y el interés por aprender, debido a que el estudiante se encuentra en un entorno más ameno.

En la imagen 2.2 vemos un resumen de las principales características de los mundos virtuales: los tipos de aprendizaje, el enfoque pedagógico y las actividades de enseñanza y aprendizaje que se pueden llevar a cabo dentro de ellos. Como podemos comprobar en la figura 2.2, con respecto al enfoque pedagógico se puede ver que está basado en el constructivismo. Se pueden encontrar en autores como Vygostky [23], Papert [33] o Piaget [34] la base pedagógica de la que parten las aplicaciones educativas que emplean mundos virtuales. Los entornos de aprendizaje constructivistas con uso de medios tecnológicos se centran en cómo las representaciones pueden mediar las interacciones entre los estudiantes y los fenómenos naturales o sociales (Dede [27]).

Los mundos virtuales tienen unas características comunes: son multiusuario, síncronos, persistentes, interactivos, inmersivos, simulados y tridimensionales. Según Livingstone y Kemp [35] la interfaz tridimensional de los mundos virtuales hace el entorno más vivido para los estudiantes, con respecto a plataformas de aprendizaje que solo ofrecen contenidos en dos dimensiones. Los mundos virtuales permiten implementar estrategias de aprendizaje auténtico y significativo mediante la realización de actividades basadas en roles, casos de estudio y actividades basadas en problemas. Los mundos virtuales proporcionan a los educadores un entorno que les permite preparar a los estudiantes para una sociedad global más compleja e interconectada, como es aquella en la que vivimos y trabajamos (Moore et al. [36]). En un mundo virtual, el protagonista principal del proceso de aprendizaje es el propio estudiante, que aprende haciendo (learning by doing), explorando e investigando dentro de un entorno tridimensional, en un ambiente lúdico que favorece el aprendizaje auténtico y significativo.



**Figura 2.2.** Esquema sobre los mundos virtuales



Finalmente, cabe destacar la presencia de comunidades de aprendizaje y conferencias educativas sobre los mundos virtuales. Por ejemplo, la conferencia sobre buenas prácticas en la educación “Virtual Worlds Best Practices in Education” [37].

### 2.1.5. Proyectos sobre mundos virtuales en la educación

Los mundos virtuales son entornos adecuados para la realización de diferentes tipos de actividades y proyectos educativos multidisciplinares. Los mundos virtuales permiten mejorar las habilidades comunicativas y sociales usando las herramientas de chat (chat de texto y de voz); mejorar las habilidades matemáticas y geométricas aprovechando que el entorno es tridimensional; mejorar las habilidades relacionadas con el pensamiento computacional programando los diferentes objetos virtuales; mejorar las habilidades de exploración e investigación aprovechando la posibilidad de simular espacios o contextos específicos; y mejorar las habilidades sociales mediante la realización de proyectos colaborativos en los cuales colaboren alumnos de centros educativos de diferentes países.

En la tabla 2.1 se puede observar algunos ejemplos de proyectos educativos que hacen uso de los mundos virtuales.

Proyecto	Descripción	Plataforma	Edades
The Virtual HARLEM Project [38]	Representación virtual de Harlem durante 1920 en la edad del jazz.	Second Life, OpenSim	18-?
The Club-Zora Project [39]	Zora es un entorno virtual multiusuario que permite a los estudiantes diseñar una ciudad virtual con objetos y personajes que se representen a sí mismos y sus valores.	Active Worlds	11-14
The Vertex Project [40]	Los estudiantes diseñan un mundo virtual usando herramientas de modelado 3D.	Active Worlds	9-11
Euroland Project [41]	Proyecto colaborativo entre estudiantes de Italia y Holanda donde dentro de un mundo virtual construyen 'casas culturales' sobre arte, alimentación, etc.	Active Worlds	9-15
The River City Project [42]	Los estudiantes agrupados en equipos investigan sobre una villa donde los habitantes están enfermos. Para ello preguntarán a los propios habitantes, tomarán muestras, etc.	Active Worlds	6-9
EcoMUVE [43]	EcoMUVE ayuda a los estudiantes a entender los ecosistemas y los patrones casuales. Los estudiantes exploran el mundo virtual para recoger y analizar la variedad de datos.	Unity 3D	9-15
V-LeaF Project [44]	Actividades de programación dirigidas a estudiantes de educación secundaria.	OpenSim	12-18
Espurnik (Proyecto Espurna) [45]	Actividades dirigidas a estudiantes de educación secundaria con el objetivo de potenciar las competencias básicas y la integración de colectivos con diversificación curricular.	OpenSim	12-18
Museogrades [46]	Es un museo inmersivo 3D en el que alumnos con discapacidad intelectual exponen sus obras artísticas.	OpenSim	9-11
CAMELOT Project [47]	El proyecto europeo CAMELOT (2013-2015) está dirigido a profesores de idiomas y tiene como objetivo la creación de vídeos en entornos virtuales tridimensionales (machinima).	Second Life	12-18
TeCoLa Project [48]	TeCoLa (2016-2019) es un proyecto dentro del programa Erasmus+ en el que pretende promover la integración y el aprendizaje de lenguas extranjeras usando los mundos virtuales y la gamificación.	OpenSim	12-18

**Tabla 2.1.** Proyectos sobre mundos virtuales aplicados a la educación.

En la tabla 2.1 se muestran una serie de proyectos que hacen uso de los mundos

virtuales como entorno de aprendizaje y cuyas actividades están enfocadas en:

- **Enseñanza de la programación.** Se usa la herramienta con el objetivo de aprender a programar, dotando de comportamiento a los objetos presentes en el mundo virtual. Por ejemplo, en el proyecto V-LeaF el principal objetivo es introducir al alumnado en la programación.
- **Enseñanza de idiomas.** La enseñanza de idiomas es el uso más extendido y en el que se pueden encontrar más proyectos en educación secundaria. El mundo virtual es un entorno muy adecuado para hacer simulaciones de acciones del día a día (ir al comprar el pan, sacar dinero del banco, etc.), y de esta forma emplea las interacciones entre avatares mediante el chat de texto y el chat de voz para practicar el idioma que se esté aprendiendo. Algunos proyectos como TeCoLa [48] y sus proyectos antecesores NIFLAR [49] y TILA [50] o el proyecto Espurna [45], además de fomentar el aprendizaje de otras competencias y aspectos culturales, tienen un claro objetivo de fomentar el aprendizaje del idioma haciendo uso de las herramientas que ofrecen los mundos virtuales. Además de los proyectos citados en la tabla anterior, destacan los proyectos europeos como AVALON [51] y AVATAR (Added Value of teAching in a virTuAl world) [52] que forman parte del programa europeo de aprendizaje continuo (LLP: LifeLong Learning Programme). Por otro lado, cabe destacar CAMELOT [47] “Creating Machinima Empowers Live Online Language Teaching and Learning”, que es un proyecto europeo dirigido a profesores de idiomas y cuyo objetivo principal es enseñar a crear vídeos (machinima) en los mundos virtuales. En este proyecto se destaca la utilización del machinima como modo de producción audiovisual que tiene lugar en un entorno virtual multiusuario y en tiempo real, mediante la grabación de las interacciones de los avatares y de las experiencias virtuales.
- **Enseñanza inclusiva.** Cabe destacar el proyecto Espurna [45] que, además de la enseñanza de idiomas, hace uso de los mundos virtuales en aulas de diversificación curricular a las que asisten alumnos en situación de exclusión social o fracaso escolar. Espurna es un proyecto multidisciplinar con más de 10.000 participantes entre profesores y estudiantes que está dirigido a docentes de educación infantil, primaria y secundaria. Está orientado a integrar y construir un marco de convivencia entre toda la comunidad educativa, teniendo en cuenta el alto número de alumnos inmigrantes que tienen algunos centros y que supone serias dificultades de adaptación por el desconocimiento del idioma y de la cultura.

Espurna cuenta, como parte del proyecto, con un mundo virtual que se llama Espurnik [45], basado en OpenSim. Una experiencia interesante es la realizada en el instituto IES Narcís Oller (Valls, Tarragona) [53] donde los propios estudiantes desarrollan contenidos educativos en el mundo virtual para que lo puedan utilizar otros estudiantes. Los estudiantes del grupo de refuerzo (estudiantes con problemas en el aprendizaje como el Trastorno de Déficit de Atención o TDA, hiperactividad, etc.) crean paisajes, granjas, bosques, y otros recursos relacionados con el sector económico primario, el sistema agrícola, la deforestación, la tipología

pesquera, etc., aprendiendo así conceptos del temario de geografía humana. De esta forma, alumnos con problemas de aprendizaje pueden trabajar de una forma más práctica mediante la construcción de estructuras tridimensionales que ejemplifican los conceptos abstractos estudiados. Estas estructuras creadas por dichos alumnos con necesidades educativas especiales son posteriormente aprovechadas por todo el grupo de estudiantes del mismo curso, fomentando así la inclusión.

Otro ejemplo reciente de empleo de los mundos virtuales para la inclusión es Museogrades [46, 54]. En este proyecto se emplean los mundos virtuales para crear un museo inmersivo 3D en el cual estudiantes con discapacidades cognitivas pueden exponer sus obras artísticas, de manera que otras personas puedan visitar de forma virtual el museo y contemplar las obras. El proyecto ha sido realizado en conjunción con Asprogrades, organización sin ánimo de lucro para el apoyo a personas con discapacidad intelectual, y han participado alumnos del colegio de Educación Especial Santa Teresa, en Granada.

- **Enseñanzas específicas.** Los mundos virtuales ofrecen la posibilidad de tener un entorno simulado, donde el alumnado puede investigar y extraer conclusiones. Por ejemplo, el proyecto The River City [42] permite al alumno investigar el motivo de por qué toda una población ha enfermado, explorando la ciudad en busca de pruebas y realizando un análisis exhaustivo de las posibles causas.
- **Enseñanza de competencias transversales.** Prácticamente en todos los proyectos se desarrollan objetivos generales de aprendizaje, como puede ser el desarrollo de la competencia social e intercultural mediante actividades colaborativas, de la competencia lingüística, de la competencia digital, etc.

## 2.2. Interfaces tangibles en la educación

Las interfaces tangibles ofrecen muchos beneficios en el ámbito educativo, proporcionando la posibilidad de manipular objetos físicos como mecanismo de interacción entre persona y ordenador, consiguiendo una interacción más directa, familiar, accesible e intuitiva.

Desde edades tempranas, la psicomotricidad es la base de formativa de los niños, que aprenden mediante la manipulación e interacción física y natural con diferentes objetos a los que en esta tesis se denominarán tangibles. La manipulación física es la base del desarrollo cognitivo y psicomotriz del niño y por tanto es importante realizar actividades educativas que requieran la manipulación y la interacción directa con objetos del entorno.

En este apartado se define el concepto de interfaz tangible de usuario, se muestran los beneficios que conlleva el uso de las interfaces tangibles en la educación, se realiza una clasificación de los diferentes tipos de interfaces tangibles y finalmente se citan algunos de los proyectos educativos que hacen uso de las interfaces tangibles.

### 2.2.1. Definición de interfaz tangible

El primer término formal para describir la interacción con objetos electrónicos o virtuales mediante elementos o artefactos físicos fue propuesto por Fitzmaurice et al. [55] y le denominaron “Graspable User Interfaces”. El paradigma en que se basa este concepto es que los elementos virtuales toman una forma física y tangible mediante diferentes dispositivos o artefactos.

Dos años más tarde, Ishii y Ullmer [56] proponen una evolución del concepto de “graspable user interface” a “tangible user interface” o TUI. Las interfaces tangibles de usuario (TUI) permiten “aumentar” (augment) el mundo físico real añadiendo o superponiendo información digital a objetos físicos cotidianos. De esta manera, las interfaces tangibles de usuario permiten la manipulación de la información digital.

Resnick [57] extendió el concepto de interfaz tangible para el dominio educativo usando el término “manipulativos digitales”, que son elementos físicos familiares con poder computacional y diseñados para mejorar el aprendizaje de los niños.

De acuerdo con Fishkin [58] las interfaces tangibles de usuario (TUI) emplean el siguiente proceso:

- **Evento de entrada.** Ocurre un evento de entrada en base a una interacción o manipulación física del usuario con algún objeto físico cotidiano.
- **Procesamiento.** Un sistema informático detecta el evento de entrada y modifica su estado.
- **Evento de salida.** El sistema proporciona una retroalimentación como evento de salida (altera la superficie de visualización, emite un sonido, etc.)

### 2.2.2. Enfoque pedagógico de las interfaces tangibles

Las interfaces tangibles proporcionan multitud de beneficios pedagógicos apoyados en teorías del aprendizaje, como es el caso de la teoría del desarrollo cognitivo de Jean Piaget. Piaget [34] incide en la importancia de la interacción física desde edades tempranas: la experiencia sensomotora o sensomotriz es el primer foco de conocimientos de los niños. Papert [33] afirma que los niños aprenden de manera efectiva construyendo literalmente su propio conocimiento a través de la manipulación física.

Las interfaces tangibles facilitan la realización de un mayor número de tareas en un menor tiempo ofreciendo la posibilidad de obtener un aprendizaje más eficaz, natural, familiar, inclusivo, lúdico y placentero. La interacción con las interfaces tangibles permite al alumno tener una participación más activa en el proceso de enseñanza aprendizaje y además resulta más accesible a los niños y a las personas con problemas en el aprendizaje (Marshall et al. [59]).

Marshall [59] propone seis perspectivas que se deben tener en cuenta a la hora de investigar y de desarrollar interfaces tangibles en el proceso de aprendizaje (ver figura

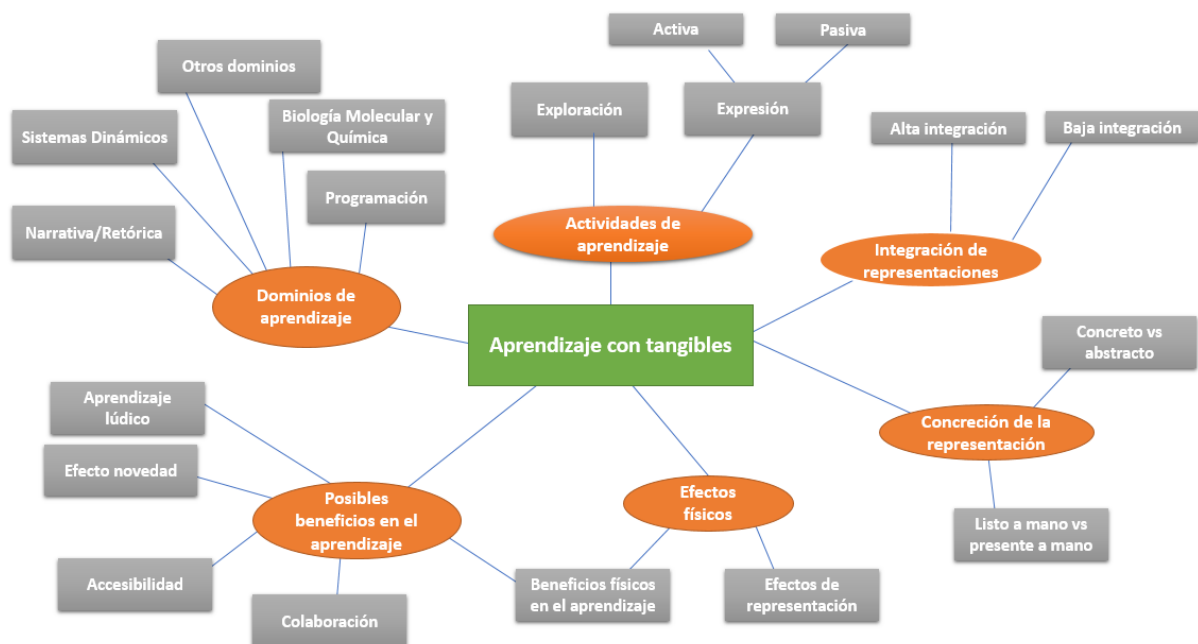
2.3):

- **Dominios de aprendizaje.** Las interfaces tangibles son muy versátiles y se pueden aplicar en diferentes dominios de aprendizaje, como por ejemplo el aprendizaje de la programación, el aprendizaje de sistemas dinámicos o el aprendizaje de la narrativa y retórica, entre otros.
- **Actividades de aprendizaje.** Se pueden realizar multitud de actividades de aprendizaje, que se pueden dividir en dos tipos: de exploración y de expresión. El primero permite al estudiante explorar una representación ya existente mediante la manipulación de los artefactos tangibles, la experimentación y la observación de resultados. En cambio, en el caso del aprendizaje expresivo son los propios estudiantes los que crean la representación del dominio en cuestión en base a sus propias ideas, externalizando sus pensamientos.
- **Integración de las representaciones.** A la hora de diseñar una interfaz tangible se debe tener en cuenta la integración de las representaciones físicas y de las representaciones digitales, estableciendo una relación espacio-temporal entre ambas representaciones.
- **Concreción y manipulación directa y sensorial.** Los efectos producidos por la interacción con los elementos tangibles se pueden clasificar en dos dimensiones:
  - **Concreto/abstracto.** Los materiales concretos pueden conducir a un mejor rendimiento en la tarea que se esté realizando, mientras que los materiales abstractos pueden conducir a una mejor transferencia del conocimiento. La abstracción de los materiales conduce a una mejor reflexión y planificación. A la hora de diseñar un tangible se tendrá que tener en cuenta la combinación de materiales concretos y abstractos. Por ejemplo, los tangibles se pueden presentar como construcciones concretas tipo a LEGO, o Topobo [60]; o alternatively como bloques de construcciones más abstractos que permitan representar estructuras conceptuales, como por ejemplo FlowBlocks [61].
  - **“Ready-to-hand”/“Present-at-hand”.** La interacción con el tangible “Ready-to-hand” significa que el tangible se usa como medio de interacción para realizar la actividad propuesta. En esta opción el tangible se trata como si fuera invisible y el usuario se centra en la actividad. En cambio, la interacción “Present-at-hand” se refiere al hecho de que el tangible en sí es objeto de estudio, de reflexión y de exploración, por lo que requiere de la total atención sobre el mismo. El tangible es la representación externa de la actividad.
- **Efectos físicos.** La manipulación de interfaces tangibles reporta multitud de beneficios físicos en los estudiantes. Muchos estudios observan una relación directa entre la actividad física y la cognición, por lo que el pensamiento puede que esté

## 2.2. INTERFACES TANGIBLES EN LA EDUCACIÓN

construido sobre el sistema sensomotor, aunque no todos los estudios empíricos corroboran dicha afirmación.

- **Beneficios en el aprendizaje.** Los principales beneficios que ofrecen las interfaces tangibles en el aprendizaje son:
  - Beneficios físicos y cognitivos. La interacción física con los artefactos tangibles produce beneficios cognitivos.
  - Colaboración. Las interfaces tangibles permiten compartir espacios y hace que las acciones sean más visibles a todas las personas involucradas.
  - Accesibilidad. Las interfaces tangibles son más intuitivas y fáciles de usar, especialmente en los niños.
  - Efecto novedad. La novedad de realizar actividades distintas a las ordinarias, al acoplar la actividad física junto con los efectos digitales, puede conllevar mejoras en la reflexión y el interés del niños.
  - Aprendizaje lúdico. La interacción con interfaces tangibles hace que el aprendizaje sea más lúdico, entretenido y ameno.



**Figura 2.3.** Interfaces tangibles en el aprendizaje  
Adaptación de la imagen original de [59].

En un estudio comparativo realizado por Horn et al. [62] se comparan las interfaces tangibles con respecto a la interacción gráfica mediante el uso del ratón. Se demuestran los beneficios que tienen las interfaces tangibles: resultan más atractivas, se fomenta la interacción colaborativa, y se anima a los estudiantes a tomar un papel más activo en

la exploración y en el aprendizaje.

Otro estudio comparativo es el realizado por Xie et al. [63] en el que se investiga la relación entre el grado de diversión y el compromiso que tienen los estudiantes haciendo uso de diferentes tipos de interfaces. En este estudio, se realizaron juegos de rompecabezas en base a tres tipos de interfaces: interfaz física tradicional (PUI), interfaz gráfica de usuario (GUI) e interfaz tangible de usuario (TUI). Se detectó que los niños tardaron más tiempo y tuvieron más problemas completando los acertijos usando la interfaz gráfica de usuario (GUI), posiblemente debido a que el acceso era de un solo usuario simultáneo y al modo de interacción indirecta que proporciona un espacio en dos dimensiones. En este estudio también se detectaron beneficios en la interfaz tangible debido a que fomenta las actividades colaborativas para la resolución de problemas. De hecho, se observaron diferentes estrategias colaborativas: usando las interfaces PUI y TUI los estudiantes resolvían los puzzles paralelamente, cada uno centrado en una parte del problema. La interacción directa con las piezas tangibles también resultó menos frustrante con respecto a la interacción indirecta usando el ratón. Según McNerney [64] las interfaces tangibles, en comparación a las interfaces gráficas bidimensionales, hacen más accesibles e inmediatos los cálculos siendo más apropiadas para que los niños aprendan programación y realicen exploración científica.

Las interfaces tangibles favorecen el aprendizaje colaborativo, accesible e inclusivo: muestra de ello son los múltiples beneficios que tienen las interfaces tangibles en el aprendizaje dirigido a estudiantes con necesidades educativas especiales o con diversidad funcional. Dentro de la educación inclusiva cabe señalar estudios experimentales como el propuesto por Haro et al. [65] dirigido a niños con síndrome de Down haciendo uso de interfaces tangibles con el objetivo de mejorar el proceso de aprendizaje de la lectura y la escritura. Los resultados de las experiencias iniciales son positivos, ya que los niños con síndrome de Down mostraron mucho interés y entusiasmo, además de ganas de participar y aprender cuando emplearon un sistema basado en una mesa interactiva. Otro estudio similar es el realizado por Jadán-Guerrero et al. [66], dirigido también a niños con síndrome de Down, donde se integraron etiquetas RFID dentro de objetos impresos en 3D y de juguetes de bajo coste. En este estudio se demuestra que las interfaces tangibles proporcionan una experiencia sensorial física que permite desarrollar habilidades de lectoescritura en niños con síndrome de Down. El sistema ayuda a mejorar la interacción entre los maestros y los niños y enfatiza la conexión entre el cuerpo y la cognición, facilitando el pensamiento a través de acciones físicas.

Far et al. [67] hicieron un estudio comparando entre el uso de Topobo [60] (construcción con memoria cinética) con respecto a los bloques de construcción LEGO. Se observó que los niños con autismo tuvieron una participación más cooperativa y social usando Topobo, mientras que hubo un juego más solitario con los bloques de construcción en LEGO. A pesar de las diferencias observadas, tanto con LEGO como con Topobo aparecen multitud de beneficios en el caso de niños con autismo. LeGoff [68] realizó un estudio dirigido a alumnos con el espectro autista donde se observaron me-



mejoras en las habilidades sociales de los niños.

Otro ejemplo de uso de interfaces tangibles para la educación inclusiva es el proporcionado por Starcic et al. [69], donde se realiza un estudio de la enseñanza de geometría en el cual, gracias a los artefactos tangibles, se facilita la utilización de elementos como la brújula, las reglas, el triángulo o el ratón a personas con habilidades motoras reducidas. Además, las interfaces tangibles permiten mejorar la inteligencia matemática y la orientación espacial a estudiantes con dificultades en el aprendizaje.

Dentro de los trabajos realizados en esta tesis doctoral se ha llevado a cabo un caso de estudio (Mateu et al. [70]) aplicado a la educación inclusiva dirigido a alumnos inmigrantes que llegaban a Cataluña (España) y no sabían hablar el catalán. Con este fin existen unas Aulas de Acogida donde los estudiantes aprenden el idioma durante varias horas al día, además de aprender aspectos culturales y otras habilidades transversales para facilitar su adaptación. Los estudiantes de las Aulas de Acogida realizaron diferentes actividades utilizando tanto los mundos virtuales como las interfaces tangibles. En los resultados se observaron mejoras en la motivación de los estudiantes logrando un aprendizaje más efectivo y autónomo en el que cada alumno podía avanzar a su ritmo atendiendo a su nivel de conocimientos.

### 2.2.3. Clasificación de las interfaces tangibles

Ishii [71] propone una clasificación de las interfaces tangibles de usuario en base a los dominios de aplicación de los mismos. En esta clasificación encontramos 8 tipos de aplicaciones que comentamos a continuación:

- **Tangibles mediante telepresencia.** Este tipo de tangible permite que diferentes usuarios remotos puedan manipular un objeto distribuido. De esta forma, las manipulaciones hápticas realizadas mediante movimiento o vibración se sincronizan y generan un efecto de telepresencia, permitiendo trabajar con interfaces tangibles distribuidas. Este dominio puede ser útil aplicado al ámbito de la educación con el objetivo realizar trabajos colaborativos desde casa. Cada estudiante podría realizar acciones con sus artefactos tangibles y su efecto se reflejaría en las interfaces tangibles de los demás estudiantes remotos.
- **Tangibles con memoria cinética.** Este tipo de tangible hace uso de la memoria cinética: se permite el almacenamiento y posterior reproducción de movimientos y gestos sobre los propios elementos tangibles. En estos tangibles se utilizan y se registran las acciones mediante memoria cinética con el propósito de enseñar a los estudiantes conceptos de programación, geometría, física o para la narración de historias. Ejemplos de tangibles con memoria cinética son Topobo [60] y Curlybot [72].
- **Tangibles con montaje constructivo.** Este tipo de tangible se basa en las construcciones mediante bloques, como serían las construcciones con LEGO. Cabe

destacar algunos ejemplos como AlgoBlock [73], ActiveCube [74], System Blocks [61] y Topobo [60]. Dentro de este dominio es interesante destacar la clasificación de los tangibles para la educación proporcionada por Zuckerman et al. [75], donde por un lado se encuentran los tangibles inspirados por el pedagogo Froebel (FiMs) y por otro lado los tangibles inspirados en la educadora Maria Montessori (MiMs).

Los tangibles inspirados en Froebel (FiMs) permiten diseñar objetos y estructuras físicas del mundo real, como por ejemplo la construcción de un castillo mediante bloques de madera. Dentro de los tangibles FiMs se puede destacar ActiveCube [74], Block Jam[76] y Topobo[60].

Los tangibles inspirados por Montessori (MiMs) hacen uso de un conjunto de bloques de construcción, pero poniendo el centro en modelar estructuras conceptuales más abstractas. Los tangibles MiMs fomentan las analogías mediante la representación basada en estructuras genéricas simuladas en lugar de simular un ejemplo concreto del mundo real. Zuckerman et al. [75] presenta dos prototipos MiMs que son SystemBlocks y FlowBlocks. Dichos prototipos se basan en simular el comportamiento dinámico, así como conceptos matemáticos como la probabilidad, o conceptos informáticos como las variables o los bucles.

- **Tangibles usando figuras y restricciones.** Este tipo de tangible usa el concepto de token para representar un objeto físico que materializa información y operaciones. Por otro lado, está el concepto de restricción (constraint) que representa zonas o regiones restringidas donde se pueden colocar las figuras o tokens. Como ejemplo se puede destacar mediaBlocks [77] y Tangible Query Interface [78].
- **Mesas interactivas.** Este tipo de tangible es manipulado sobre una determinada superficie que detecta sus movimientos, obteniéndose una retroalimentación visual. Dos ejemplos de mesas o superficies interactivas son The reacTable [79], que es una mesa interactiva utilizada para el aprendizaje de la música, y Metadesk [80].
- **Tangibles con plasticidad o material maleable.** Son aquellos tangibles que no tienen una forma fija determinada y que se pueden modificar. Habitualmente se usan materiales como la arena y la arcilla, que permiten esculpir rápidamente formas para el diseño de, entre otras cosas, objetos y paisajes.
- **Tangibles con objetos cotidianos aumentados.** Se trata de objetos cotidianos a los que se añade capacidades de interacción, mediante sensores y actuadores.
- **Tangibles en espacios físicos.** Éste no es en propiedad un tipo concreto de tangible, debido a que no hay una interacción directa con un elemento físico. Se trata de un espacio dotado de sensores y pantallas, donde se puede interactuar mediante gestos.

### 2.2.4. Proyectos sobre las interfaces tangibles en la educación

En este apartado se muestran diferentes proyectos educativos que hacen uso de las interfaces tangibles de usuario (TUI). La mayoría de los proyectos citados tienen como principal objetivo el aprendizaje de conceptos abstractos como son las matemáticas o la programación, que mediante las interfaces tangibles resultan más fáciles de entender (ver la tabla 2.2). Además, el uso de las interfaces tangibles favorece el trabajo colaborativo, permite el aprendizaje de competencias transversales y mejora la motivación de los estudiantes.

Tangibles	Descripción	Objetivos	Edades
Ely the explorer [81]	Exploración de diferentes culturas usando un personaje ficticio.	Promover actividades colaborativas, enseñar geografía y otras culturas.	6-12
Quetzal y Tern [82]	En este proyecto se enseña a programar usando dos lenguajes de programación tangibles: Quetzal(lenguaje para controlar robots con LEGO Mindstorms y Tern (lenguaje para controlar robots virtuales en el ordenador).	Aprender a programar usando lenguajes de programación tangibles.	4-16
Topobo [60]	Topobo es un conjunto de herramientas reconfigurables con memoria cinética. Los estudiantes pueden crear diferentes construcciones y pueden programar sus movimientos.	Desarrollar habilidades sensoriales, aprendizaje mediante la exploración, fomentar la creatividad.	6-12
Tangicons [83]	Tangicons es utilizado por los estudiantes para el aprendizaje de la programación mediante un juego físico.	Aprender las bases de la programación.	7
Turtan [84]	Turtan es un lenguaje de programación tangible.	Enseñanza de la programación y fomentar la creatividad.	4-7
Squishy Circuits [85]	Los estudiantes pueden crear circuitos electrónicos.	Aprender a conceptos de electrónica mediante los circuitos.	9-13
Magic carpet [86]	Magic carpet permite a los estudiantes contar historias de forma colaborativa.	Trabajar colaborativamente.	5-7
AlgoBlock [73]	AlgoBlock es un videojuego tangible que permite manejar un submarino en el ordenador.	Mejorar sus habilidades de planificación y aprender a trabajar colaborativamente.	12
WebKit [87]	WebKit permite enseñar la retórica a los estudiantes.	Enseñar habilidades para la retórica.	6-12
SystemBlocks [75]	SystemBlocks permite la simulación de modelos dinámicos.	Aprender modelos dinámicos y conceptos abstractos.	4-11
FlowBlocks [75]	Permite trabajar aspectos matemáticos como la probabilidad o la acumulación.	Aprender conceptos matemáticos.	4-11

**Tabla 2.2.** Proyectos sobre interfaces tangibles en la educación

O'Malley y Stanton [88] presentan una serie de casos de estudio sobre aplicaciones educativas que hacen uso de las tecnologías tangibles empleando objetos cotidianos. Los casos de estudio están clasificados atendiendo a la naturaleza del objeto tangible:

- **Papel, libros y pantallas aumentadas digitalmente.** KidPad [89] es una herramienta colaborativa que permite a los niños dibujar, editar y escribir historias usando enlaces que conectan elementos de su historia. MagicBook [90] es un ejemplo de libro que emplea técnicas de realidad aumentada para generar escenas virtuales.
- **Objetos físicos como iconos digitales.** Este tipo de tangible consiste en objetos físicos en forma de juguetes interactivos, bloques o etiquetas que producen efectos digitales. Un ejemplo es el proyecto CACHET [91], en el que los juguetes contienen sensores y están vinculados a un ordenador con el que interactúan.
- **Objetos físicos con propiedades computacionales integradas.** Son destacables algunos proyectos como construcciones LEGO programadas con el lenguaje de programación LOGO [92], Programmable Bricks (P-Bricks) [93], Curlybot [72] o Topobo [60].
- **Tangibles basados en sensores e Inteligencia Ambiental.** Los tangibles pueden disponer de sensores que capten aspectos del entorno, como son la luz, el color y la humedad. Green et al. [94] proponen el Storytent en el que se usan linternas para manipular objetos en una carpa en la que se visualiza un mundo virtual tridimensional. Otro ejemplo es el sistema llamado "I/O Brush", que es una herramienta de dibujo en forma de pincel que posee varios sensores que permiten recoger las propiedades de un determinado objeto (por ejemplo el color o la textura). El sistema "I/O Brush" se ve como un pincel físico que dispone de una pequeña cámara de vídeo en su interior y sensores táctiles integrados.

Para finalizar esta sección comentaremos brevemente la evolución que están teniendo las interfaces tangibles en el mundo educativo. Las interfaces tangibles son herramientas que permiten mejorar la creatividad y la colaboración de los estudiantes. Además, la importancia que está adquiriendo el aprendizaje de la programación desde edades tempranas hace que sea cada vez más importante su uso en la educación. La problemática que hay es el elevado precio que tienen los kits de herramientas tangibles, lo que hace difícil su implementación en los centros educativos. La solución consiste en crear herramientas de bajo coste (low-cost) que no supongan un esfuerzo económico para los centros educativos. Por ejemplo, Code Notes [95] es una herramienta de programación que hace uso de interfaces tangibles y que está compuesta por una aplicación Android junto con unas cartulinas que contienen código de programación. La combinación de las cartulinas permite la creación de diferentes tipos de algoritmos. Por otro lado, ha habido un auge muy destacable de la aplicación de la realidad aumentada en el sector educativo. Jin et al. [96] proponen una herramienta de programación tangible denominada AR-Maze que también sería una herramienta de bajo coste y que, mediante la realidad aumentada, permite superponer una retroalimentación constante

según el estudiante vaya colocando los bloques de programación. En definitiva, vemos el potencial de las interfaces tangibles, especialmente en el campo de la programación y en el de la inclusión en las aulas, mediante kits de bajo coste que no supongan un gran esfuerzo económico, complementados con aplicaciones que hagan uso de la realidad aumentada.

## 2.3. Realidad mixta en la educación

En esta tesis se combinan los mundos virtuales y las interfaces tangibles para obtener un entorno de realidad mixta. La interacción con los objetos del mundo real tiene su representación en el mundo virtual y por tanto cualquier acción sobre objetos del mundo real tiene su consecuencia en el mundo virtual. El concepto de realidad mixta no tiene todavía una definición consensuada en la literatura, pero en los siguientes apartados se muestran algunas de las propuestas realizadas hasta el momento.

### 2.3.1. Definición de realidad mixta

La primera aproximación al término de realidad mixta es la realizada por Milgram y Kishino [97] en la que, a través del llamado continuo de la virtualidad, se considera una línea donde en el extremo izquierdo se representa el mundo real y en el extremo derecho se representa el mundo virtual (ver figura 2.4). Según nos aproximamos al extremo de la derecha conseguimos una realidad más virtual y si nos aproximamos al extremo de la izquierda entramos en la realidad aumentada, alcanzando en el límite la realidad tal cual la conocemos. La zona que permite mezclar ambas realidades (real y virtual) se la conoce como realidad mixta.



**Figura 2.4.** Continuo de la Virtualidad  
Adaptación de la imagen de [97].

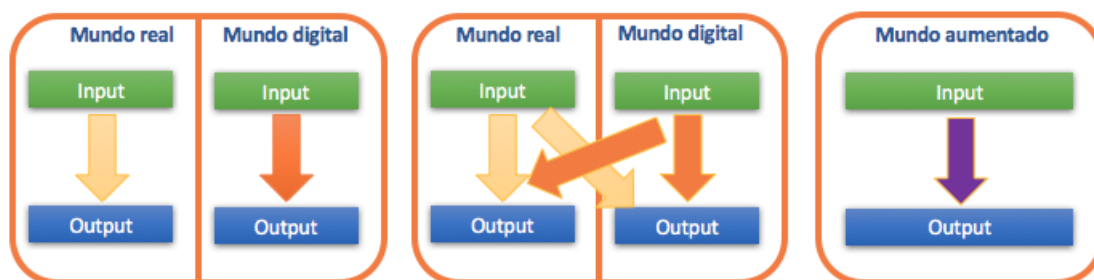
Por lo tanto, según este modelo, observamos que la realidad mixta se encuentra entre los dos extremos del continuo de la virtualidad. Sin embargo, esto implica un cierto grado de ambigüedad, ya que podemos usar dicho término tanto para hablar de realidad mixta desde una perspectiva de realidad aumentada, como desde una perspectiva en la cual las acciones reales tienen un impacto en entornos virtuales. Por lo tanto, al concepto de realidad mixta quizá le falte madurez y pueda generar cierta ambigüedad: se pueden encontrar aplicaciones de realidad mixta que tengan diferentes perspectivas del mundo real y del mundo virtual.

### 2.3. REALIDAD MIXTA EN LA EDUCACIÓN

---

En la literatura se emplean tres términos relacionados: realidad virtual, realidad mixta y realidad aumentada. El concepto de realidad virtual implica que el usuario consigue una completa inmersión en un mundo virtual perdiendo las percepciones del mundo real. El entorno presente en la realidad virtual es totalmente digital y por tanto el usuario se sumerge dentro de un mundo virtual en el que se simula una experiencia sensorial pero en un ambiente artificial. Por otro lado, la realidad aumentada permite complementar el entorno real con el entorno virtual, por ejemplo visionando el entorno físico a través de un dispositivo (móvil, gafas, etc.). El entorno real se enriquece mediante la combinación de elementos virtuales, permitiendo perfeccionar la realidad superponiendo objetos virtuales. Finalmente, la realidad mixta es una combinación entre la realidad virtual y la realidad aumentada, donde se permite la interacción con objetos reales dentro de un mundo virtual.

En la figura 2.5, basada en el documento de Serbatini et al. [98] sobre el Internet de las cosas, se vislumbran tres escenarios posibles. En el primero de ellos (izquierda) vemos que el mundo real y el mundo virtual son totalmente independientes. En el escenario central vemos que los mundos reales y los mundos virtuales pueden interactuar: una acción en el mundo real puede tener consecuencias en el mundo virtual y una acción en el mundo virtual puede tener reacción en el mundo real. Finalmente, en el tercer escenario (derecha) tenemos el mundo aumentado donde los dos mundos se fusionan. Aquí la definición de mundo aumentado se hace coincidir con lo que otros autores denominan realidad mixta. En esta tesis el concepto de realidad mixta se aplica a aquellos sistemas donde los eventos que suceden en el mundo real afectan al mundo virtual y viceversa.



**Figura 2.5.** Mundo real y mundo virtual  
Adaptación de la imagen original de [98].

#### 2.3.2. Proyectos sobre realidad mixta en la educación

A continuación, se citan algunos de los proyectos aplicados a la educación que hacen uso de la realidad mixta en diferentes etapas o niveles educativos (educación secundaria, ciclos formativos y educación superior).

SMALLab [99] es un entorno de realidad mixta dirigida a estudiantes de química de educación secundaria. Tras la realización de una experiencia, los resultados muestra-

ron evidencias de que usando el sistema de realidad mixta se mejoraba el aprendizaje colaborativo, el aprendizaje de los contenidos y la capacidad de razonamiento espacial. Además, los estudiantes se mostraron mucho más participativos y motivados por aprender de una forma distinta. SMALLab es un espacio abierto en forma de cubo que cuenta con un sistema de detección y retroalimentación compuesto por un proyector situado en la parte superior, altavoces para proporcionar una retroalimentación de sonido y un conjunto de objetos tangibles en forma de esfera que representan moléculas y que se pueden utilizar para realizar reacciones químicas.

Nikolakis et al. [100] presenta un sistema de realidad mixta dirigido a la enseñanza de geometría. El usuario, mediante un guante háptico, puede realizar distintas acciones e insertar objetos geométricos en un escenario tridimensional. El usuario puede modificar ciertas propiedades de los objetos geométricos, como puede ser cambiar el tamaño del objeto, cambiar la altura o cambiar el radio de la figura seleccionada. Para aumentar la inmersión del usuario se utilizó un dispositivo de visualización de realidad virtual HMD (Head-Mounted Display). El sistema se probó en un centro de educación secundaria en Grecia con resultados satisfactorios, proporcionando un aprendizaje más eficiente de cara a solucionar problemas de geometría.

El proyecto europeo MARVEL [101] está dirigido a estudiantes de Formación Profesional de Mecatrónica. En este proyecto se permite el acceso ubicuo a talleres y laboratorios físicos desde lugares remotos en tiempo real. El proyecto MARVEL combina las sesiones virtuales de aprendizaje (laboratorios remotos y simulaciones) con experimentos prácticos en los laboratorios locales o en el lugar de trabajo.

El proyecto MiRTLE (A Mixed Reality Teaching and Learning Environment) [102] ofrece un entorno de realidad mixta que permite la interacción entre profesores y estudiantes que están presentes tanto físicamente como remotamente en una especie de campus virtual. De esta forma, dicho entorno de aprendizaje permite realizar clases online enlazando el mundo físico real con el mundo virtual mediante el sentido de telepresencia y sin importar la ubicación geográfica del alumno.

MagicBook [90] es un ejemplo de interfaz con realidad mixta que hace uso de un libro físico real al cual se le superponen modelos virtuales para crear una escena de realidad aumentada (AR) y que permite la realización de actividades colaborativas adecuadas a diferentes niveles.

Actualmente hay un auge de proyectos y aplicaciones que hacen uso de la realidad aumentada aplicadas a la enseñanza. María Carmen Juan [103] presenta una experiencia en la que se utiliza un juego de realidad aumentada junto con elementos tangibles (cubos magnéticos) para el aprendizaje de diferentes tipos de animales exóticos que no son muy conocidos. El juego utiliza realidad aumentada, imágenes y vídeos explicativos sobre los animales exóticos que aparecen en los laterales de los cubos. En esta experiencia se han valorado los siguientes aspectos: el aspecto de entretenimiento y di-

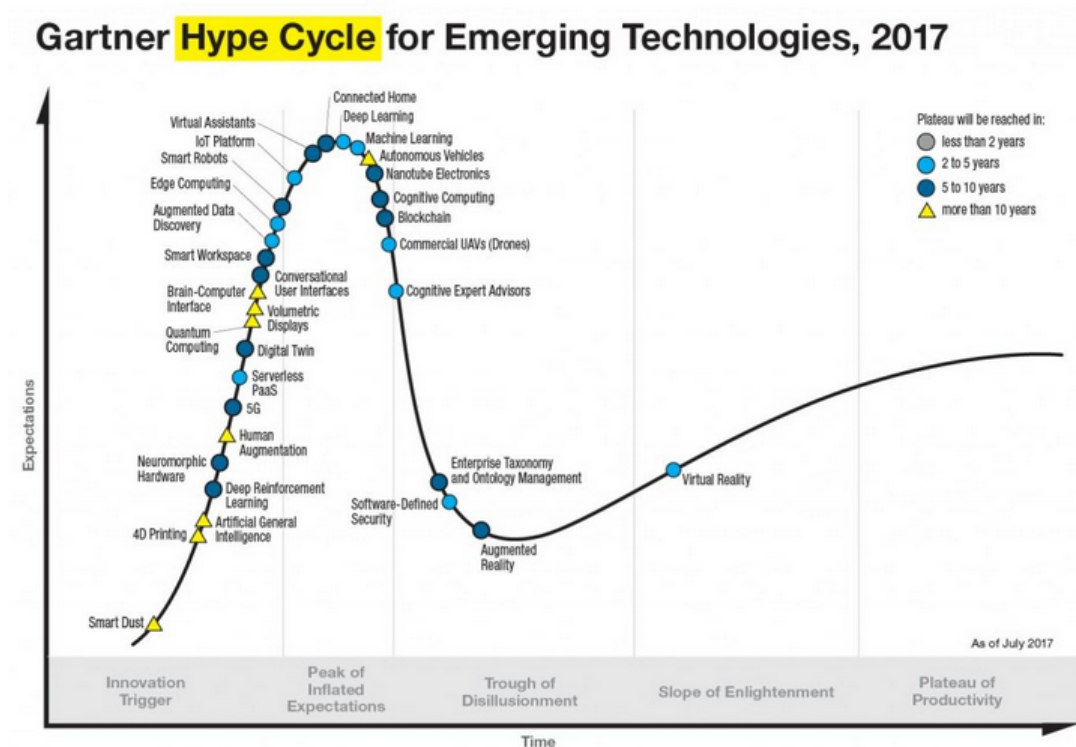


versión; el valor percibido; la usabilidad; y el sentido de presencia. En esta experiencia participaron 20 adultos, y cabe destacar que la interacción con los elementos tangibles (los cubos magnéticos) les pareció más útil que la interacción mediante teclado y ratón.

Finalmente, cabe mencionar los dispositivos Nintendo Wii[104] y Microsoft Kinect[21] que, además de tener un fuerte impacto en el sector del ocio, también se han utilizado en el sector educativo.

Es importante remarcar que hay muy pocos proyectos en los que se utilice la realidad mixta desde la perspectiva de que acciones del mundo real tengan impacto en un mundo virtual y viceversa. Tras la revisión del estado del arte, no se han encontrado experiencias significativas que hagan uso de elementos tangibles y que utilicen un mundo virtual como entorno de aprendizaje interactivo, inmersivo y multiusuario. En un mundo virtual se dispone de un entorno donde cada avatar puede construir, puede programar el comportamiento de los diferentes objetos y puede interactuar con el resto de avatares en un entorno multiusuario, síncrono y en tiempo real. Permite trabajar las competencias del alumnado mediante diferentes tipos de actividades y metodologías. En la mayor parte de las experiencias encontradas en la literatura, las interfaces tangibles de usuario se emplean en un entorno monousuario, en un entorno creado específicamente para dicha experiencia, o en un juego fuera de línea. En estos casos no se consigue la reutilización, la interacción entre todos los alumnos y la convivencia dentro de un entorno simulado tridimensional, que son característicos de nuestra propuesta.

En la figura 2.6, realizada por la consultora Gartner [105], se muestra un análisis de la madurez de las tecnologías emergentes para los próximos años. Como se puede apreciar, la realidad aumentada y la realidad virtual son tecnologías que están alcanzando un nivel alto de madurez y por ello cada vez se están utilizando más tanto en las aulas como en diferentes ámbitos de la vida real. Como ejemplo, es destacable el impacto que tuvo la combinación de realidad aumentada y geolocalización de la aplicación Pokemon Go en el año 2016. La tecnología subyacente podría ser aplicable a entornos educativos.



**Figura 2.6.** Hype Cycle de Gartner 2017.

Actualmente las principales compañías tecnológicas están invirtiendo grandes esfuerzos en el mercado de los dispositivos llamados 'wearables' y especialmente en las gafas inteligentes. Cabe mencionar las Google Glass [106], las HTC Vive [107], Oculus Rift [18] y Microsoft HoloLens [108]. Se puede esperar que en los próximos años, y a medida que los precios sean más asequibles, las gafas inteligentes serán utilizadas de forma habitual en ambientes educativos.

Las instituciones educativas necesitarán rediseñar los espacios de aprendizaje tanto formales como informales y seguir apostando por el aprendizaje ubicuo y conectado. Además, las nuevas metodologías como el "flipped classroom" o "clase invertida" también implican la necesidad de disponer de dichas tecnologías tanto en las aulas como en el propio domicilio del estudiante.



## 3 Aspectos metodológicos

### 3.1. Introducción

En esta tesis se han llevado a cabo principalmente las siguientes tareas:

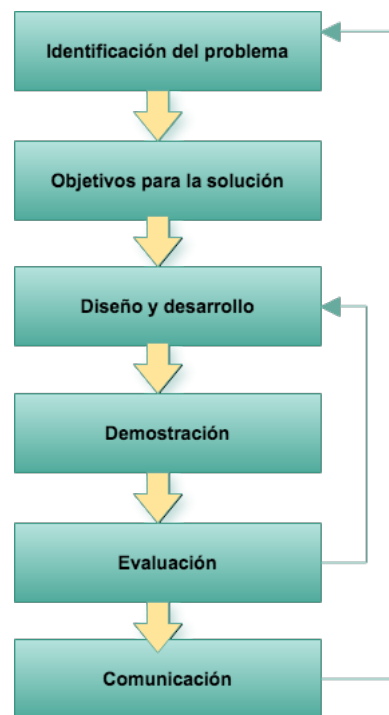
- Estudio del estado del arte en relación a las tres áreas de investigación de esta tesis: los mundos virtuales, las interfaces tangibles y la realidad mixta.
- Diseño e implementación de una arquitectura que permite crear aplicaciones educativas en un entorno de realidad mixta en el que se combinan los mundos virtuales con las interfaces tangibles de usuario como mecanismo de interacción.
- Diseño e implementación de prototipos funcionales que interconectan los mundos virtuales a través de las interfaces tangibles para crear aplicaciones educativas.
- Experimentación con los prototipos desarrollados en diferentes centros educativos mediante casos de estudio y pruebas piloto.
- Análisis de los datos obtenidos en las experiencias llevadas a cabo en los centros educativos y extracción de conclusiones.

### 3.2. Consideraciones metodológicas

La metodología de investigación utilizada para esta tesis doctoral está basada en la propuesta por Peffers et al. [109] denominada **Design Science Research Methodology (DSRM)**, en la que se siguen una serie de pasos: se analiza el problema, se

diseña una solución y finalmente se realiza una validación de la solución desarrollada. En esta tesis se han llevado a cabo diferentes casos de estudio y pruebas piloto en centros educativos de Educación Secundaria. Los resultados obtenidos en las experiencias realizadas han sido publicados en revistas y congresos relevantes a las áreas de la investigación tratadas en esta tesis.

La metodología de investigación DSRM [109] consta de seis fases secuenciales: inicialmente se identifica el problema, con ello se definen los objetivos, y a partir de los objetivos se realiza el diseño y posteriormente el desarrollo del prototipo de la aplicación. Las fases finales corresponden a la demostración y evaluación de los prototipos desarrollados, y se termina con la fase correspondiente a la comunicación de los resultados a la comunidad científica (ver figura 3.1). Si se encuentran problemas en la fase de evaluación, se vuelve a la fase de diseño y desarrollo para solucionar dichos problemas. Una vez finalizado con éxito el ciclo, y después de comunicar los resultados mediante publicaciones, se identifican nuevos problemas para así ir ampliando la funcionalidad y el ámbito de investigación de forma incremental.



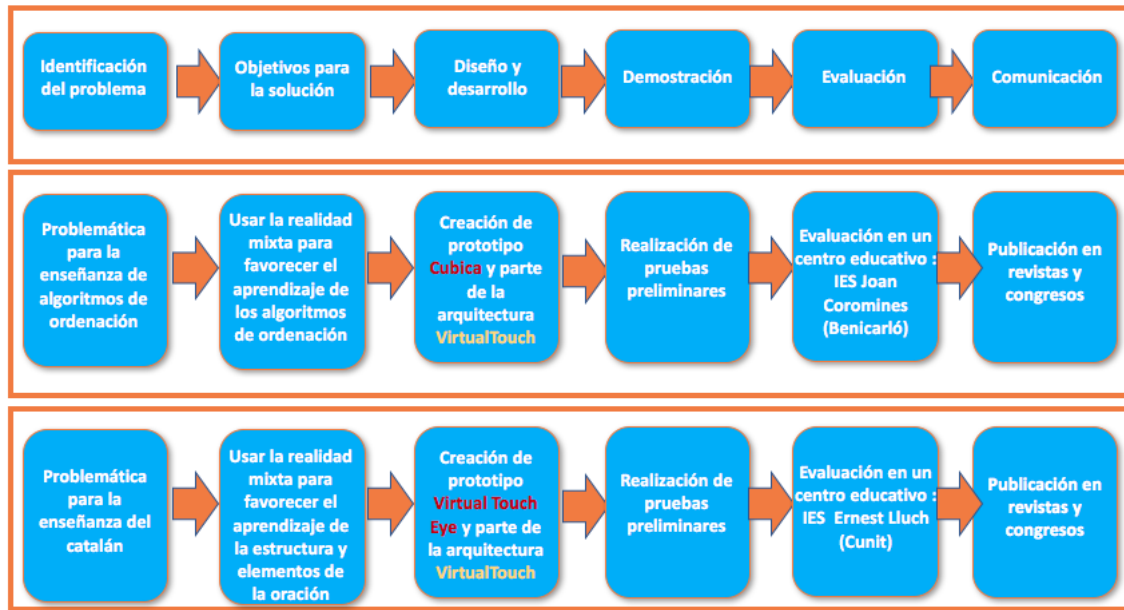
**Figura 3.1.** Metodología de investigación DSRM.

Siguiendo la metodología propuesta por Peffers et al. [109], el trabajo de investigación realizado en esta tesis se ha dividido en dos fases.

En la primera fase se ha trabajado con los prototipos Cúbica y Virtual Touch Eye (ver figura 3.2). Esta fase inicial ha supuesto el inicio de la arquitectura Virtual Touch:

se han empezado a integrar diferentes tecnologías que permiten la combinación de los mundos virtuales con las interfaces tangibles. Cúbica fue el primer prototipo, creado con el objetivo pedagógico de facilitar el aprendizaje de los diferentes algoritmos de ordenación a través de la interacción con las interfaces tangibles y la realización de actividades de enseñanza-aprendizaje dentro del mundo virtual. El objetivo científico-técnico fue el diseño e implementación de la primera versión de la arquitectura que se presenta en esta tesis. De esta manera el prototipo de Cúbica utilizó la tecnología Phidgets [110] para el desarrollo de una interfaz tangible que interactuaba con un mundo virtual creado con OpenSim. El middleware desarrollado con tal fin constituyó la primera versión de la arquitectura de Virtual Touch. Se realizó una experiencia con el prototipo Cúbica en el centro educativo IES Joan Coromines (Castellón), involucrando alumnado de Educación Secundaria Obligatoria, Bachillerato y ciclos formativos de Grado Medio. Los resultados obtenidos en la experiencia fueron analizados y se extrajeron conclusiones. Los resultados obtenidos fueron publicados en congresos y revistas relevantes [111, 112, 113], y fueron empleados como punto de partida de los siguientes diseños.

En un segundo ciclo de la metodología DSRM, se diseñó el prototipo Virtual Touch Eye, en el que se integró una nueva tecnología de interfaces tangibles que hace uso del dispositivo Microsoft Kinect, y que se evaluó en el ámbito de la enseñanza del catalán dirigida a estudiantes inmigrantes y con escasa integración social. Atendiendo al problema escogido y a los objetivos pedagógicos decididos en conjunción con los responsables educativos, se diseñó un sistema de realidad mixta con el propósito de realizar ejercicios que permitían a los estudiantes aprender e identificar las partes de la oración y cada elemento que compone una oración. Los resultados obtenidos también se publicaron en artículos del ámbito de la tesis [114, 70, 113], y fueron el punto de partida de los siguientes diseños. Como resultado científico-técnico de este ciclo de investigación y desarrollo, la arquitectura Virtual Touch alcanzó un mayor nivel de generalidad y abstracción, incluyendo la posibilidad de realizar interfaces tangibles con una nueva tecnología: Microsoft Kinect.



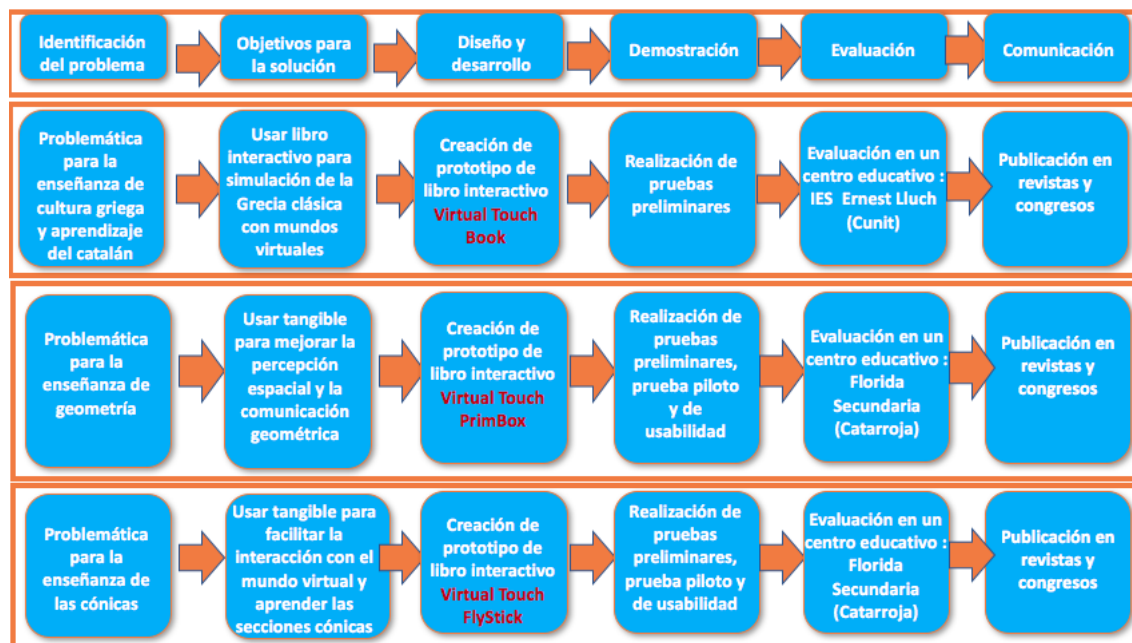
**Figura 3.2.** Metodología de investigación DSRM parte 1.

La segunda fase de la investigación ha seguido un proceso similar, pero haciendo cada vez más énfasis en el análisis de los resultados pedagógicos (ver figura 3.3). Virtual Touch Book fue el siguiente prototipo desarrollado, empleando la tecnología del microcontrolador Arduino para realizar el interfaz tangible. El prototipo Virtual Touch Book consiste en un libro tangible que permite enlazar y combinar el contenido presente en el libro tangible con el contenido en tres dimensiones presente en el mundo virtual. El principal objetivo pedagógico de este prototipo consistía en ayudar al alumnado con necesidades educativas especiales en el aprendizaje de la Grecia clásica de una forma más amena y lúdica, consiguiendo un aprendizaje más significativo. El prototipo fue probado y mejorado siguiendo un ciclo de desarrollo iterativo e incremental. En la primera versión del libro tangible se encontraron problemas técnicos que fueron solucionados en las siguientes versiones. Los resultados se publicaron en congresos y revistas relevantes [115, 113]. Como resultado científico-técnico de este ciclo de investigación y desarrollo, la arquitectura Virtual Touch incluyó la posibilidad de realizar interfaces tangibles con una nueva tecnología: Arduino.

Los dos últimos prototipos fueron diseñados por Graciela Guerrero y Andrés Ayala como sendos Trabajos fin de Máster, en base a la arquitectura de Virtual Touch y con la tecnología Phidgets. Los dos prototipos desarrollados se denominaron Virtual Touch PrimBox y Virtual Touch FlyStick y fueron probados en el centro educativo Florida Secundaria (Catarroja, Valencia). Los resultados obtenidos en ambas experiencias fueron publicados en congresos y revistas relevantes [116, 117]. Estos dos prototipos son una muestra de que la arquitectura Virtual Touch permite a otros programadores incorporar sus interfaces tangibles de una forma rápida y sencilla, que era una de las hipótesis

### 3.2. CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

de la tesis. En efecto, dos personas con conocimientos altos de informática, pero sin ningún conocimiento previo en las áreas de los mundos virtuales o de las interfaces tangibles, fueron capaces de desarrollar en unos meses dos nuevos interfaces tangibles, así como desarrollar dos aplicaciones educativas de realidad mixta que los usaran, y probarlas con estudiantes de un centro de educación secundaria.



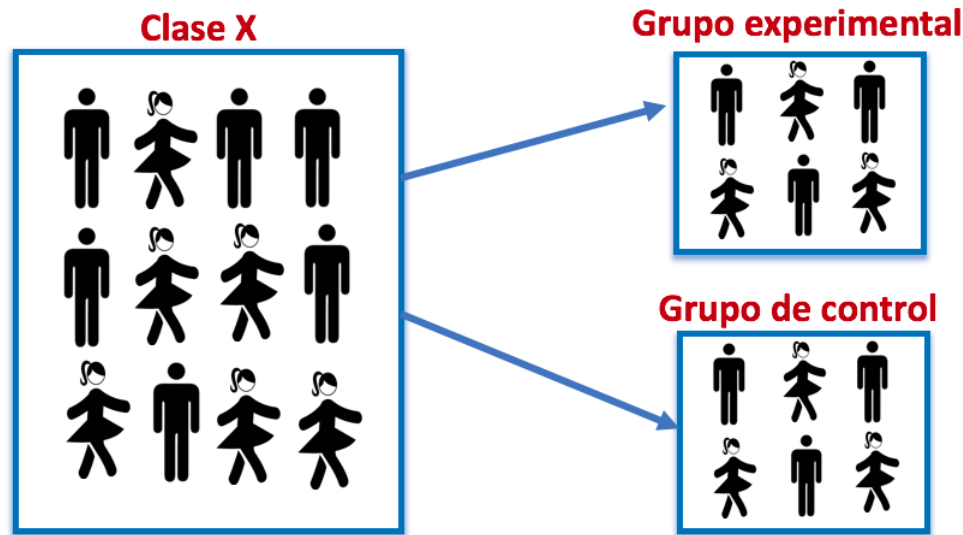
**Figura 3.3.** Metodología de investigación DSRM parte 2.

La experimentación realizada en los diferentes centros educativos se hizo con una sistemática de trabajo similar en todos los casos, que principalmente se compone de:

- Observación directa durante el desarrollo de las actividades realizadas por el alumno.
- Realización de entrevistas tanto a los alumnos como a los profesores participantes.
- Realización de pruebas para evaluar el aprendizaje obtenido por los estudiantes.
- Análisis de resultados y propuestas de mejora.
- Extracción de conclusiones.

Algunas de las experiencias fueron llevadas a cabo con dos grupos de alumnos con el objetivo de comparar los resultados obtenidos en cada grupo (ver figura 3.4). Por un lado un grupo experimental en el que se trabaja con los prototipos desarrollados y por otro lado un grupo de control en el que se trabaja de forma tradicional. El grupo

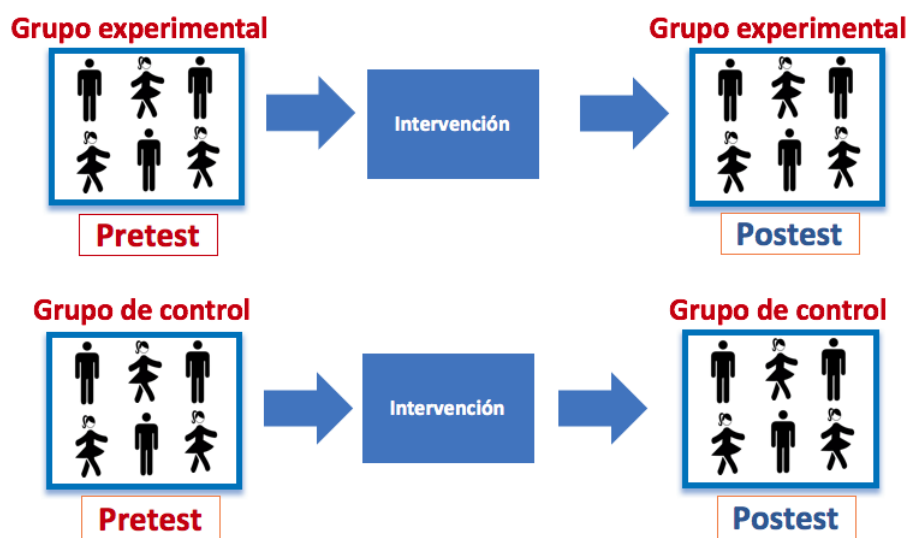
de control utiliza las metodologías y recursos tradicionales, que consisten en realizar las explicaciones oportunas en la pizarra y la posterior la realización de actividades complementarias y evaluaciones en papel. De esta forma, al finalizar las experiencias se pueden comparar los resultados obtenidos en ambos grupos y concluir si las tecnologías desarrolladas en esta tesis realmente proporcionan beneficios educativos.



**Figura 3.4.** Experimentación mediante grupo experimental y grupo de control.

Una vez dividido el grupo de estudiantes en dos subgrupos de forma aleatoria, se realiza un pretest inicial para valorar los conocimientos con los que parten los estudiantes antes de realizar la experiencia (que llamaremos intervención, ver figura 3.5). Este pretest se realiza tanto al grupo de control como al grupo experimental. Posteriormente, al finalizar las experiencias se realiza un postest que valora los conocimientos adquiridos por los estudiantes. En base a los resultados obtenidos en los postests de ambos grupos (grupo de control y grupo experimental) se realiza una comparativa para valorar las diferencias obtenidas entre ambos.





**Figura 3.5.** Realización de pretest y posttest a ambos grupos.

En las experiencias llevadas a cabo, el pretest no proporcionó información destacable debido a que los alumnos empezaron las experiencias sobre temáticas en las que partían sin apenas conocimientos previos. Por este motivo el análisis de resultados se centró fundamentalmente en comparar los posttests realizados. También en algunas experiencias se realizó un segundo posttest unas semanas después de la experiencia inicial, para valorar la retención de los conocimientos estudiados a lo largo del tiempo, es decir, para comprobar si el aprendizaje fue significativo.

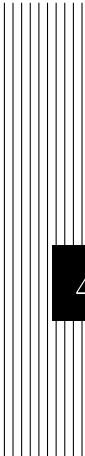
La metodología utilizada en los casos de estudio se ha desarrollado en base a cuatro etapas principales (ver figura 3.6), donde se empezó con una primera fase de evaluación de conocimientos previos, seguido de una segunda fase en la que se presentan los mundos virtuales y las interfaces tangibles para que los alumnos se familiaricen con el sistema. Posteriormente se lleva a cabo la experiencia mediante la realización de actividades prácticas, para finalizar con la evaluación de las actividades mediante la realización de unos tests que permiten valorar el aprendizaje que han obtenido los alumnos.



**Figura 3.6.** Metodología de experimentación.

La usabilidad del tangible es un aspecto importante a tener en cuenta a la hora de evaluar los prototipos desarrollados. La experiencia de usuario de los estudiantes se ha evaluado mediante la observación directa, junto con la realización de un cuestionario de valoración de la usabilidad. La información así obtenida ha sido realmente valiosa y ha permitido mejorar los diseños de los prototipos. Los test de usabilidad evalúan, entre otros aspectos, la facilidad de uso del tangible, la utilidad para mejorar el aprendizaje y la sensación de satisfacción al utilizarlo. Los test de usabilidad realizados por los alumnos están basados en los propuestos por Lund [118], en los que se consideran los siguientes ítems que son valorados en una escala que va desde “completamente en desacuerdo” hasta “completamente de acuerdo”:

- Utilidad
- Satisfacción
- Facilidad de aprendizaje
- Facilidad de uso



## 4 Arquitectura

### 4.1. Objetivos

En esta tesis se presenta una arquitectura denominada Virtual Touch que permite la creación de actividades educativas bajo un entorno de realidad mixta en el que se combinan los mundos virtuales junto con las interfaces tangibles. Los objetivos científicos de esta arquitectura, consecuencia de las hipótesis de investigación expresadas en el Capítulo 1 de esta tesis, pueden desglosarse en objetivos pedagógicos y objetivos técnicos.

#### 4.1.1. Objetivos pedagógicos

La arquitectura Virtual Touch tiene como objetivo pedagógico principal aprovechar las posibilidades educativas que ofrecen los mundos virtuales y las interfaces tangibles para enriquecer el proceso de aprendizaje de los estudiantes. Los mundos virtuales proporcionan un entorno tridimensional, interactivo y multiusuario en el que los estudiantes aprenden de una forma segura, controlada y con gran heterogeneidad de recursos a su alcance. Las interfaces tangibles facilitan la interacción con los mundos virtuales y ayudan a mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje mediante la manipulación natural y directa de elementos tangibles.

En la figura 4.1 se muestra un desglose de los objetivos pedagógicos que se quieren conseguir mediante los mundos virtuales y las interfaces tangibles de usuario, que combinadas conforman un entorno de realidad mixta. Como se puede observar, la combinación de los mundos virtuales con las interfaces tangibles de usuario puede ofrecer

diversidad de estrategias metodológicas adecuadas al contexto educativo y permitir lograr un aprendizaje significativo.

Virtual Touch		
Realidad Mixta	Mundos virtuales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporciona un entorno tridimensional, interactivo y multiusuario.</li> <li>• Permite explorar, construir, manipular y programar objetos virtuales en un espacio compartido.</li> <li>• Favorece la participación activa y la fidelidad del estudiante con una interacción en tiempo real y persistente en el tiempo.</li> <li>• Crea una sensación de inmersión, de presencia y de 'co-presencia'.</li> <li>• Favorece la comunicación, la colaboración y las relaciones entre iguales.</li> <li>• Permite la realización del aprendizaje situado (situated learning) y el aprender haciendo (learning by doing).</li> <li>• Permite la realización de actividades basadas en roles (role-playing), actividades de investigación y exploración, actividades de resolución de problemas y actividades colaborativas.</li> <li>• Entorno apropiado para realizar simulaciones, recreaciones históricas y cualquier tipo de representación.</li> <li>• Entorno adecuado para el aprendizaje de idiomas y el aprendizaje de competencias transversales.</li> <li>• Entorno idóneo para aplicar estrategias de 'gamificación'.</li> <li>• Las comunidades de aprendizaje aportan un valor añadido.</li> <li>• Se integra perfectamente con entornos virtuales de enseñanza como Sloodle.</li> <li>• Permite la creación de cursos, seminarios, conferencias y talleres online.</li> </ul>
	Interfaces tangibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporciona una interacción natural e inmediata accesible a los estudiantes.</li> <li>• Favorece la participación activa y práctica.</li> <li>• Permite la exploración, expresión, descubrimiento y reflejo.</li> <li>• Proporciona herramientas para pensar.</li> <li>• Permite aprender conceptos abstractos a través de representaciones físicas.</li> <li>• Favorece la realización de actividades colaborativas y la compartición de espacios.</li> <li>• Permite obtener un aprendizaje experiencial (acción y reflexión).</li> <li>• Permite aprender mediante "ensayo y error".</li> <li>• Es accesible y adecuado para alumnos con necesidades educativas especiales.</li> <li>• Vinculación entre la actividad física y la cognición.</li> <li>• Proporciona una retroalimentación instantánea.</li> <li>• Favorece un aprendizaje lúdico.</li> <li>• Mejora la interacción social.</li> </ul>

**Figura 4.1.** Objetivos pedagógicos de la arquitectura Virtual Touch.

#### 4.1.2. Objetivos técnicos

La arquitectura Virtual Touch tiene el propósito de proporcionar un entorno que facilite la creación de actividades educativas por parte de educadores con distintos niveles de conocimientos de informática y electrónica. La arquitectura está adaptada a cada tipo de usuario educador según su nivel de conocimientos. Un usuario con pocos conocimientos podrá realizar la configuración básica del sistema mientras que un usuario con conocimientos avanzados de informática será capaz de crear e integrar sus propios elementos tangibles a la arquitectura Virtual Touch de una forma rápida y sencilla.

Desde un punto de vista científico-técnico, la arquitectura Virtual Touch deberá conseguir los siguientes objetivos:

- **Modularidad.** La arquitectura estará formada en base a pequeños módulos independientes que interactúen entre sí con interfaces claras. Se podrán cambiar o

añadir módulos de manera transparente al resto de la arquitectura, si se respetan las interfaces existentes.

- **Escalabilidad.** La arquitectura permitirá el crecimiento y la adaptabilidad ante cambios de configuración o la incorporación de nuevas tecnologías o sensores.
- **Heterogeneidad.** La arquitectura será heterogénea: convivirán diferentes tipos de tecnologías que, a pesar de sus particularidades técnicas, podrán integrarse e interactuar conjuntamente.
- **Interoperabilidad.** La arquitectura será interoperable: permitirá transferir e intercambiar información entre los distintos servicios integrados.

## 4.2. Requisitos y análisis funcional de la arquitectura

Los objetivos pedagógicos y técnicos anteriormente expuestos se concretan en una serie de requisitos formales que se desglosarán a continuación. Los requerimientos de un sistema describen los servicios que ha de ofrecer y nos muestran una perspectiva de las propiedades o restricciones que deben satisfacerse.

### 4.2.1. Requisitos no funcionales

Se han encontrado una serie de requisitos no funcionales que indican las principales cualidades que debe tener el sistema desarrollado y que detallamos a continuación:

#### 4.2.1.1. Requisitos de la arquitectura

A continuación se muestra la especificación de requisitos genéricos no funcionales relativos a la arquitectura implementada. Los requisitos no funcionales de la arquitectura son:

- **RNFA1. Modularidad.** La arquitectura tendrá una estructura modular que permitirá incluir módulos (o retirarlos) de una forma rápida y sencilla.
- **RNFA2. Configurabilidad.** La arquitectura deberá ser fácil de configurar, de manera que usuarios educadores con distintos niveles de conocimientos informáticos podrán crear aplicaciones educativas para sus alumnos, cada uno según su nivel de conocimientos.

- **RNFA3. Interoperabilidad.** La arquitectura permitirá la incorporación de nuevas tecnologías hardware para la implementación de interfaces tangibles, que se integrarán al sistema sin interferir en el funcionamiento del resto de los componentes de la arquitectura.
- **RNFA4. Modificabilidad.** La arquitectura permitirá realizar modificaciones en los módulos sin interferir en el funcionamiento del resto de componentes del sistema.
- **RNFA5. Abstracción.** La arquitectura tendrá un diseño estructurado en capas que permitan definir distintos niveles de abstracción, con interfaces claras. El sistema permitirá modificar una determinada capa sin afectar al resto de las capas de la arquitectura.
- **RNFA6. Escalabilidad.** La arquitectura deberá ser escalable, es decir, se adaptará correctamente frente a incrementos en el volumen de usuarios conectados o frente a la incorporación de mayor número de recursos y aplicaciones educativas al sistema.
- **RNFA7. Comunicación.** La arquitectura tendrá una API que describirá la forma de conexión e intercambio de datos entre los componentes integrados al sistema.
- **RNFA8. Persistencia.** La arquitectura dispondrá de mecanismos de persistencia para almacenar las configuraciones realizadas en el sistema.
- **RNFA9. Conectividad.** Los usuarios podrán conectar las interfaces tangibles al sistema de una forma sencilla.

#### 4.2.1.2. Requisitos generales de las aplicaciones

A continuación mostramos los requisitos generales no funcionales relativos a las aplicaciones desarrolladas:

- **RNFAP1. Usabilidad.** El sistema deberá disponer de interfaces de usuario claras, sencillas, amigables y correctamente estructuradas.
- **RNFAP2. Apariencia.** El sistema deberá disponer de interfaces tangibles de usuario con un aspecto agradable y con estilos coherentes.
- **RNFAP3. Disponibilidad.** El sistema deberá estar en funcionamiento las 24 horas del día, 7 días de la semana, 365 días al año.
- **RNFAP4. Seguridad.** La arquitectura deberá definir mecanismos de autenticación que controlen qué usuarios pueden conectarse al sistema.

- **RNFAP5. Requisitos software.** El servidor de mundos virtuales funcionará bajo el sistema operativo Windows. Los clientes podrán ejecutarse en sistemas Windows, Linux y Mac OS.
- **RNFAP6. Interfaces de comunicación.** El sistema dispondrá de interfaces de comunicación basadas en el protocolo HTTP.
- **RNFAP7. Servidor de mundos virtuales.** El sistema, en caso de aparecer problemas en la red, permitirá que se habilite un servidor de mundos virtuales en modo local.
- **RNFAP8. Conexión al servidor de mundos virtuales.** Los clientes de los mundos virtuales se conectarán a través de una dirección IP con un rango de puertos TCP y UDP.
- **RNFAP9. Utilización de recursos.** El sistema contará con un conjunto de recursos y actividades educativas predefinidas para el uso por los usuarios del sistema.

### 4.2.2. Requisitos funcionales específicas de las aplicaciones

Los requisitos funcionales del sistema se refieren a la funcionalidad que perciben los usuarios finales, en este caso los alumnos. Para cada una de las aplicaciones educativas desarrolladas (ver capítulo 5) se estudiaron los requisitos específicos, en colaboración con el educador responsable de la experiencia.

#### 4.2.2.1. Aplicación Virtual Touch Cúbica

- **RFVTC1. Interfaz tangible.** El sistema deberá contar con un artefacto tangible que represente el concepto de array.
- **RFVTC2. Tecnología hardware de interfaces tangibles.** La arquitectura será capaz de incorporar la tecnología Phidgets para implementar las interfaces tangibles.

#### 4.2.2.2. Aplicación Virtual Touch Eye

- **RFVTE1. Interfaz tangible.** El sistema será capaz de reconocer gestos y figuras (al menos figuras geométricas).

- **RFVTE2. Tecnología hardware de interfaces tangibles.** La arquitectura será capaz de integrar la tecnología Microsoft Kinect para el reconocimiento de gestos y figuras.

#### 4.2.2.3. Aplicación Virtual Touch Book

- **RFVTB1. Interfaz tangible.** El sistema deberá contar con un libro físico como interfaz tangible, de manera que se muestren unas determinadas actividades en el mundo virtual según la página que se encuentre abierta en ese instante.
- **RFVTB2. Tecnología hardware de interfaces tangibles.** La arquitectura será capaz de integrar la tecnología de Arduino para la implementación de las interfaces tangibles.

#### 4.2.2.4. Aplicación Virtual Touch PrimBox

- **RFVTP1. Interfaz tangible.** El sistema tendrá una interfaz tangible que permitirá manipular figuras geométricas reales, cuya representación se visualizará en el mundo virtual tridimensional.
- **RFVTP2. Tecnología hardware de interfaces tangibles.** La arquitectura será capaz de incorporar la tecnología Phidgets para implementar las interfaces tangibles.

#### 4.2.2.5. Aplicación Virtual Touch FlyStick

- **RFVTF1. Interfaz tangible.** El sistema tendrá un tangible que permitirá la captura de movimientos de los tres ejes de coordenadas (X,Y,Z) que serán representados en el mundo virtual.
- **RFVTF2. Tecnología hardware de interfaces tangibles.** La arquitectura será capaz de incorporar la tecnología Phidgets para implementar las interfaces tangibles.

### 4.2.3. Análisis funcional

El empleo de aplicaciones de realidad mixta en el proceso de enseñanza-aprendizaje presenta multitud de beneficios en el aprendizaje de los estudiantes pero requiere de



## 4.2. REQUISITOS Y ANÁLISIS FUNCIONAL DE LA ARQUITECTURA

---

ciertos conocimientos informáticos del educador, que debe configurar y administrar todos los dispositivos y las tecnologías que desea utilizar en su práctica docente. La configuración y la conexión de los elementos tangibles con los mundos virtuales es una tarea compleja que requiere de un esfuerzo destacable por parte del educador.

La arquitectura Virtual Touch debe diseñarse para ser usada en centros educativos por diferentes tipos de usuarios educadores. Los centros educativos disponen de un profesorado heterogéneo con gran variabilidad en cuanto conocimientos de informática y electrónica. Por ejemplo, el profesor de Informática tendrá conocimientos avanzados y por tanto encontrará más sencillo configurar el sistema o incluso programar una nueva funcionalidad que se integrará en la arquitectura desarrollada. En cambio, un profesor de Historia puede que disponga de pocos conocimientos de informática y le suponga un esfuerzo significativo incluso el mero hecho de tener que configurar cualquier dispositivo o tecnología.

Partiendo de la heterogeneidad del profesorado, la arquitectura Virtual Touch se dirige a tres tipos de usuarios educadores en base a sus conocimientos de informática y electrónica: el usuario básico, el usuario intermedio y el usuario avanzado.

La arquitectura tiene como elemento central un software intermediario (middleware), que es el que se encarga de gestionar la comunicación entre los mundos virtuales y las interfaces tangibles. Cada usuario educador tendrá a su disposición una serie de opciones para la configuración tanto del mundo virtual como de las interfaces tangibles que desee conectar. Los tres tipos de educadores podrán conectar un determinado sensor y el middleware se encargará de comunicar el sensor con el mundo virtual. De esta forma, cualquier acción que ocurra en el mundo real tendrá su efecto en el mundo virtual y viceversa.

A continuación, vamos a detallar las acciones que podrán realizar los tres tipos de usuarios educadores en base a sus conocimientos de informática:

- **Usuario básico.** El usuario básico es aquel usuario que apenas tiene conocimientos de informática y únicamente podrá conectar el sensor que desea utilizar (sensor de presión, sensor de luz, sensor de temperatura, etc.) al middleware. El usuario básico solamente podrá realizar configuraciones muy básicas del middleware y cambiar la configuración de aplicaciones ya existentes.
- **Usuario intermedio.** El usuario intermedio es aquel tipo de usuario que posee algunos conocimientos de informática aunque no muy avanzados. El usuario intermedio podrá realizar las acciones propias de un usuario básico y además tendrá la opción de configurar algunos parámetros de los sensores e incluso modificar algunos scripts de programación que permiten cambiar las acciones que ocurren dentro del mundo virtual. Por ejemplo, el usuario intermedio podrá modificar el código para que al presionar un determinado elemento tangible (por ejemplo un

pulsador), en vez de mostrarse una luz de color rojo en el mundo virtual, se muestre una luz de color azul, o se presente un texto determinado al estudiante. En general podrá cambiar el comportamiento de aplicaciones ya existentes, creando así nuevas aplicaciones similares.

- **Usuario avanzado.** El usuario avanzado es considerado un experto en informática y podrá, por ejemplo, añadir un nuevo sensor que no estaba registrado previamente e incluso podrá incorporar un nuevo dispositivo o tecnología para que forme parte de la arquitectura Virtual Touch. También será capaz de modificar los scripts e incluso crear sus propios scripts. En resumen, el usuario avanzado será capaz de añadir e integrar cualquier tipo de tecnología y elemento tangible a la arquitectura Virtual Touch en un periodo de tiempo breve y de una forma sencilla.

En la imagen 4.2 se pueden apreciar los tres tipos de usuarios educadores que conforman la arquitectura Virtual Touch. Los usuarios del sistema podrán desde simplemente configurar de forma básica el programa intermediario (middleware) hasta añadir nuevos elementos tangibles al sistema. Las tecnologías que se han utilizado en esta arquitectura para la conexión de los elementos tangibles son Phidgets, Arduino y Microsoft Kinect.

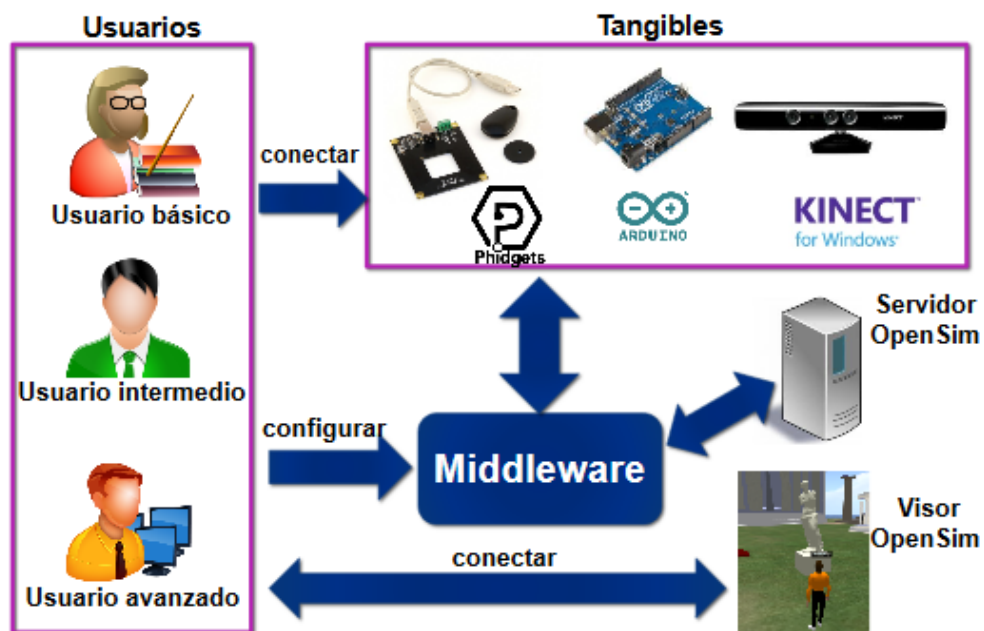
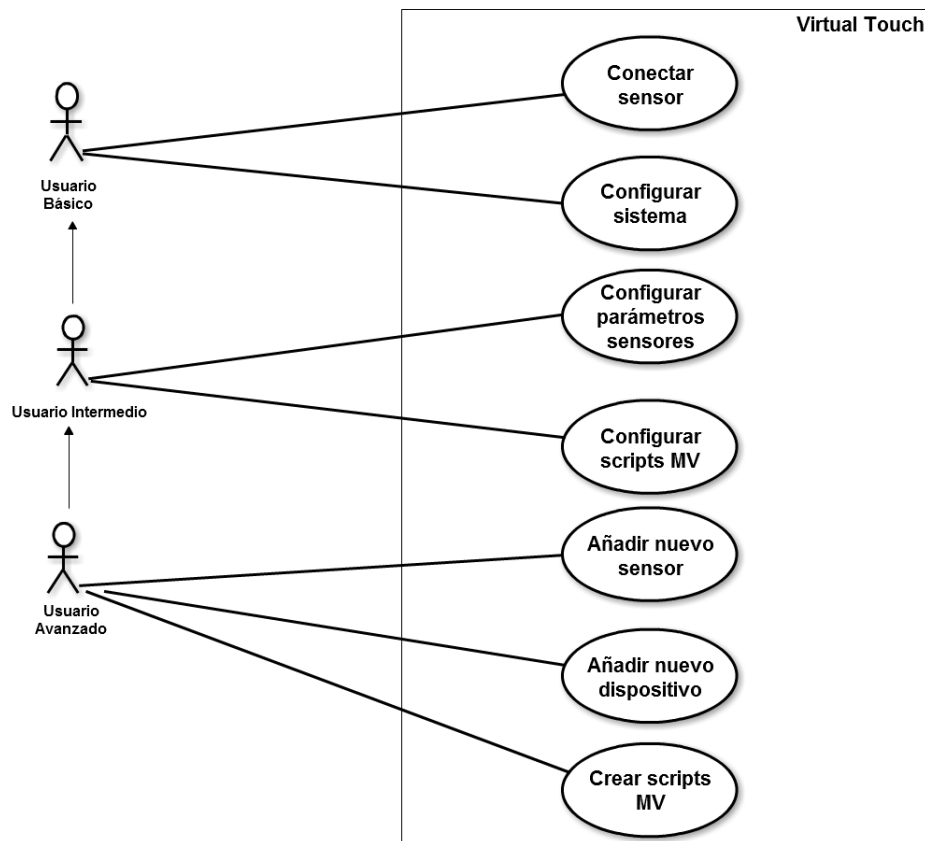


Figura 4.2. Usuarios Virtual Touch.

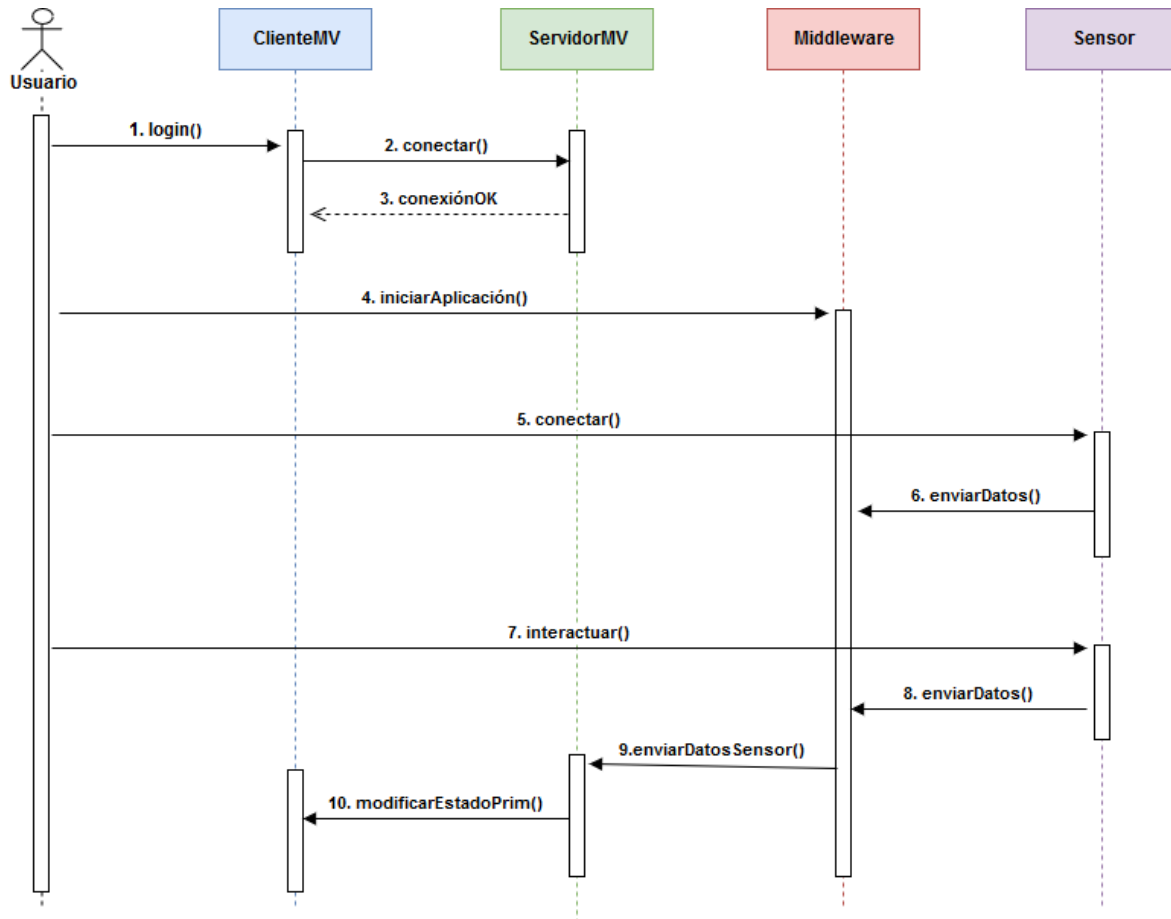
## 4.2. REQUISITOS Y ANÁLISIS FUNCIONAL DE LA ARQUITECTURA

En el diagrama de casos de uso 4.3 se visualizan las acciones asociadas a cada tipo de usuario. Como se puede observar, existe una herencia entre los actores que hace que el usuario con mayor nivel de conocimientos de informática pueda hacer lo mismo que el usuario con menor nivel pero teniendo acceso, además, a otras funcionalidades adicionales.



**Figura 4.3.** Diagrama de casos de uso de Virtual Touch.

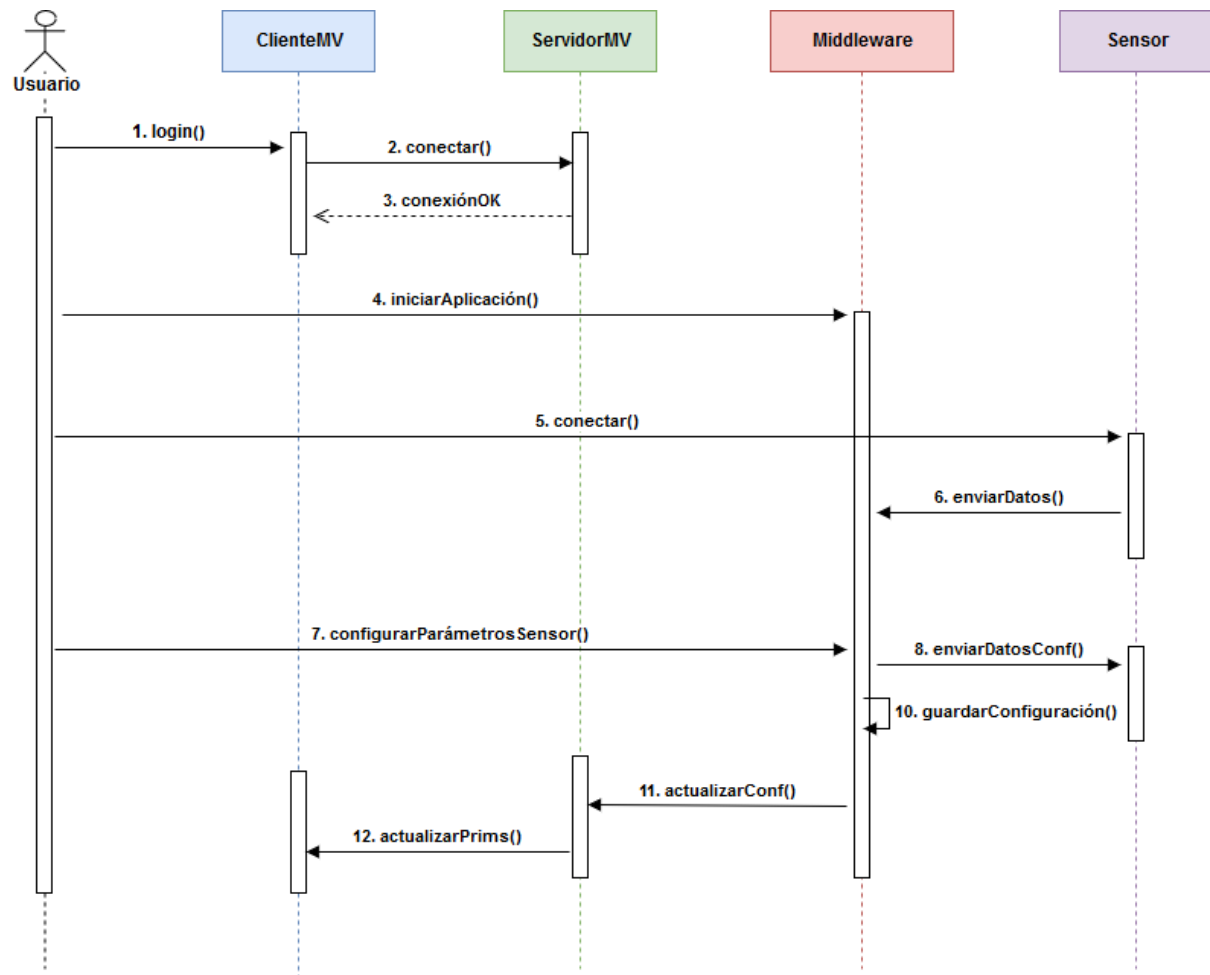
En el diagrama de secuencia 4.4 se puede visualizar una perspectiva genérica de la interacción que puede hacer un usuario básico dentro del sistema, donde podrá conectar alguno de los sensores que estén presentes dentro de la arquitectura Virtual Touch.



**Figura 4.4.** Diagrama de secuencia usuario básico.

## 4.2. REQUISITOS Y ANÁLISIS FUNCIONAL DE LA ARQUITECTURA

En el diagrama de secuencia 4.5 se visualiza la interacción que tendrá un usuario intermedio, que ya dispone de mayor flexibilidad para configurar el sistema y los sensores que se conecten al middleware.



**Figura 4.5.** Diagrama de secuencia usuario intermedio.

En el diagrama de secuencia 4.6 se muestran las posibles acciones que podrá realizar un usuario avanzado. El usuario avanzado posee conocimientos avanzados de informática y electrónica y por lo tanto, además de poder realizar las mismas acciones que el resto de usuarios, también podrá añadir nuevos sensores o nuevas tecnologías al sistema. La arquitectura Virtual Touch es escalable y modular, permitiendo la integración de nuevos componentes a la arquitectura sin modificar el resto de funcionalidades del sistema.

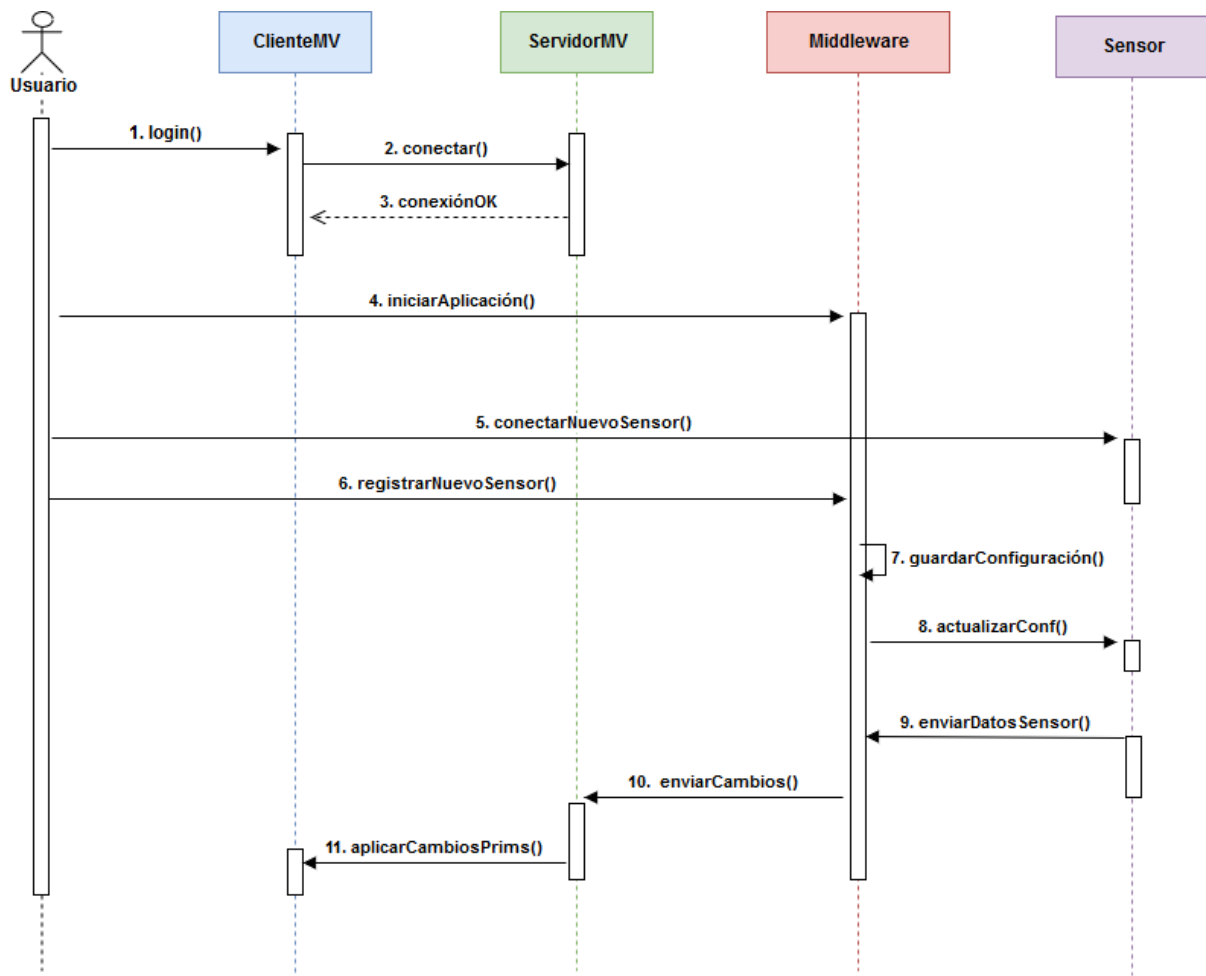
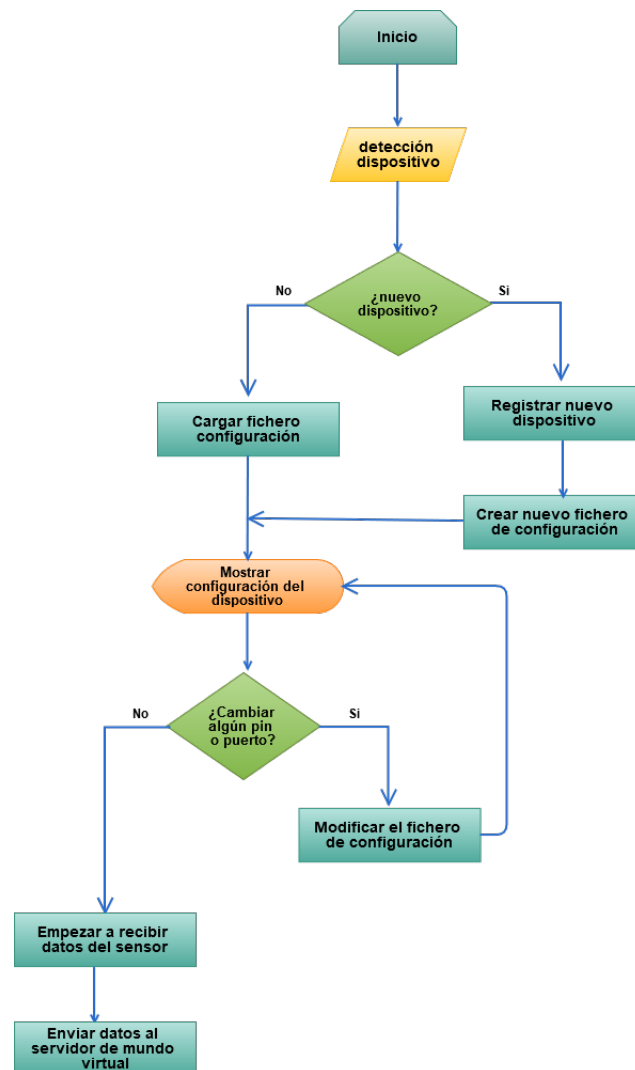


Figura 4.6. Diagrama de secuencia usuario avanzado.

## 4.2. REQUISITOS Y ANÁLISIS FUNCIONAL DE LA ARQUITECTURA

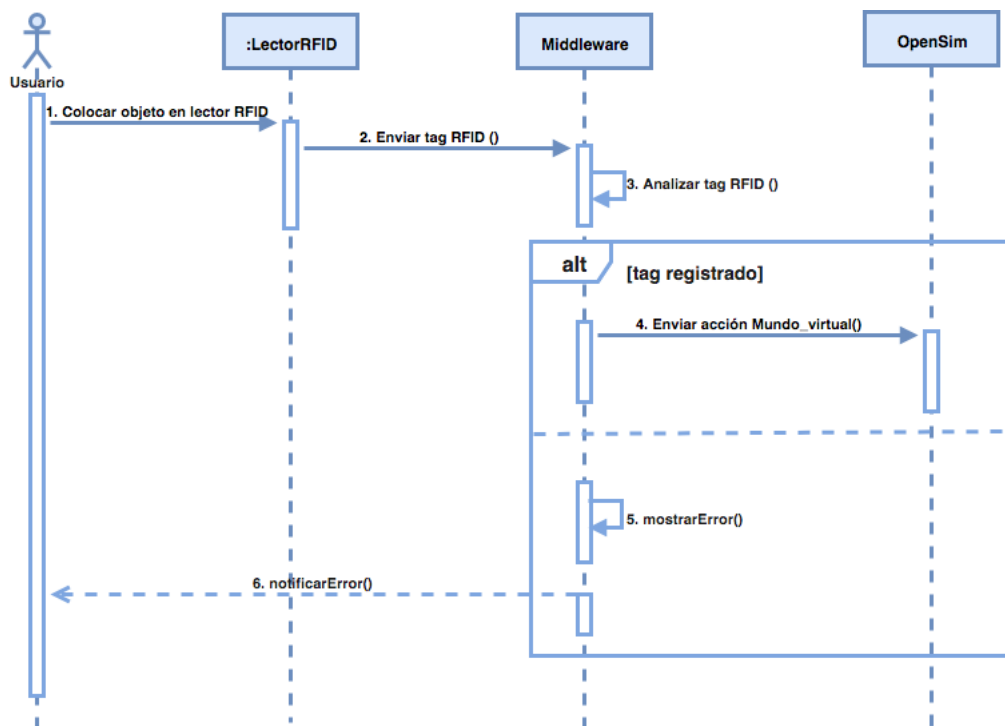
---

En la figura 4.7 se puede observar un diagrama de flujo del proceso que permitirá al usuario avanzado registrar un nuevo dispositivo y además configurar los pines o puertos que desee conectar con el propósito de comunicar las interfaces tangibles a los mundos virtuales de una forma sencilla y rápida.



**Figura 4.7.** Diagrama flujo del registro de un nuevo dispositivo.

En la figura 4.8 vemos un diagrama de secuencia que muestra de forma básica la comunicación e interacción existente entre los sensores que hacen uso de la tecnología de radiofrecuencia RFID respecto al middleware que deberá comprobar si existe el tag o etiqueta mostrado al lector de RFID. En caso de que esté registrado el tag RFID en el sistema, se realizará una determinada acción en el mundo virtual que puede ser la aparición de un objeto virtual o la configuración específica de un objeto. Por ejemplo, en el caso de la experiencia Cúbica (ver capítulo 5), el hecho de detectar un tag concreto lo que hace es cambiar el número del cubo virtual correspondiente en el mundo virtual. Otro ejemplo puede verse en la experiencia Virtual Touch PrimBox, donde lo que se mostraría sería la representación del objeto en cuestión, es decir, si se detecta el tag correspondiente a un pentágono se crearía una representación del pentágono en el mundo virtual.



**Figura 4.8.** Diagrama de secuencia sobre lectura de tags RFID en el sistema.

### 4.3. Diseño e implementación de la arquitectura

En esta sección se describen todos los componentes que forman parte la arquitectura desarrollada. La arquitectura está compuesta de un mundo virtual que se ha utilizado para la creación de las actividades educativas; de los elementos tangibles que permiten



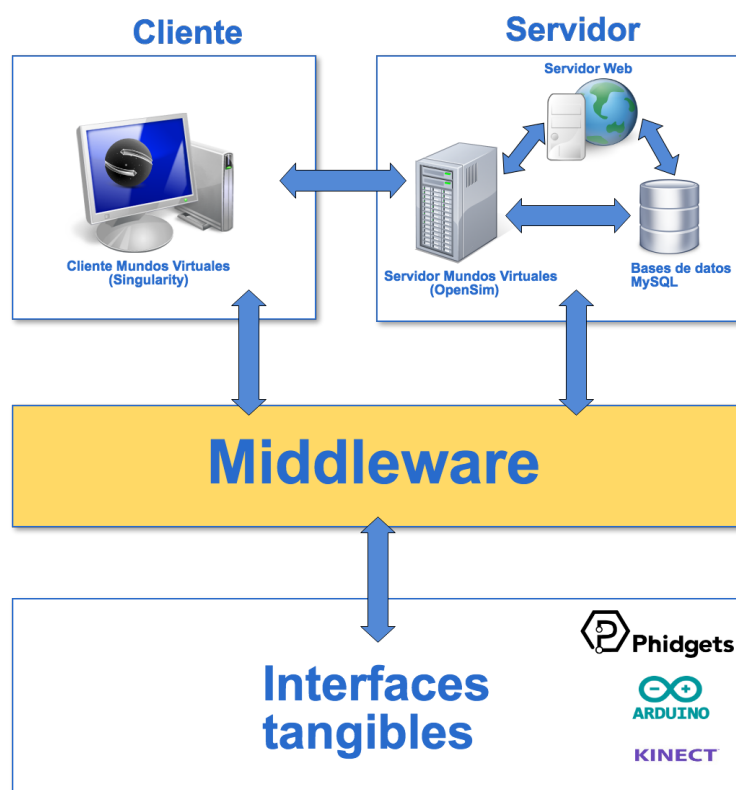
### 4.3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA

---

la conexión con los mundos virtuales; y del middleware para comunicar los mundos virtuales y las interfaces tangibles. En esta sección se introducirán algunos aspectos clave en cuanto a los elementos hardware y software utilizados en el desarrollo del sistema.

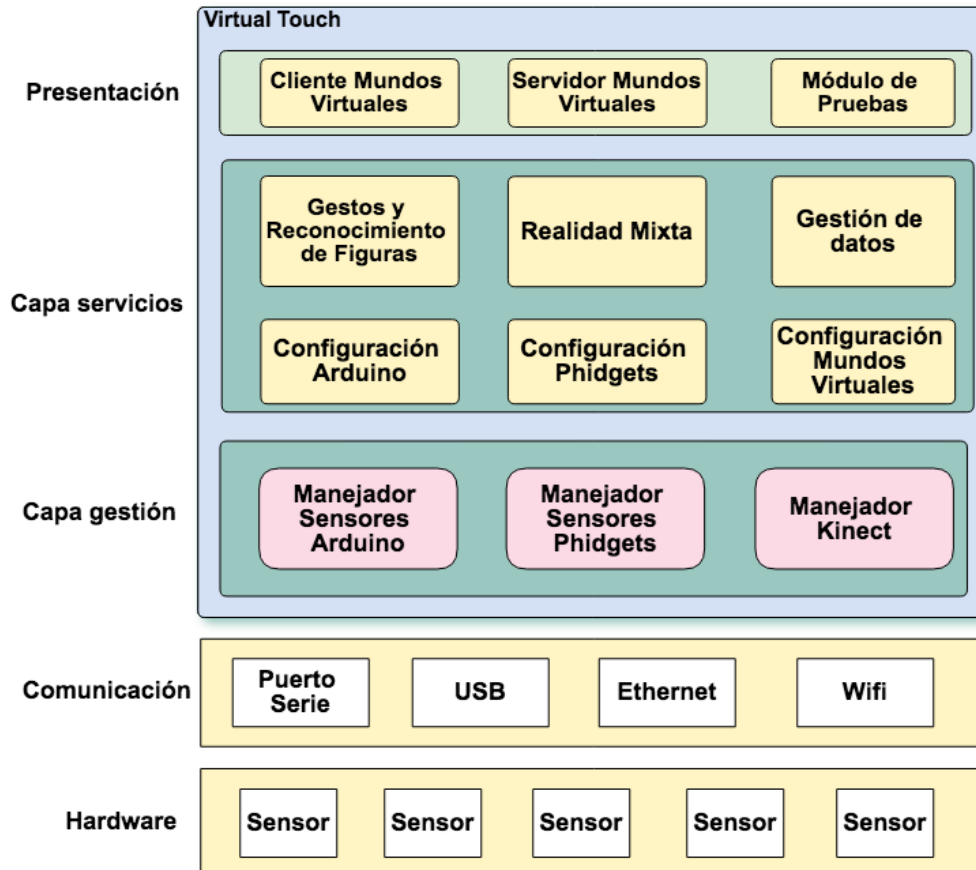
La arquitectura dispone de los siguientes cuatro componentes (ver figura 4.9):

- **Un cliente de mundos virtuales.** La conexión a un servidor de mundos virtuales se realiza mediante una aplicación cliente: un visor de mundos virtuales.
- **Un servidor de mundos virtuales.** El servidor permitirá la creación y configuración de los mundos virtuales.
- **Un software middleware.** El middleware es un software de conectividad que se encarga de comunicar y conectar los mundos virtuales con las interfaces tangibles.
- **Un conjunto de interfaces tangibles.** Los elementos tangibles permiten la interacción entre el mundo real y el mundo virtual. Las acciones llevadas a cabo en el mundo real son representadas en el mundo virtual. También puede ocurrir el caso inverso en el que una acción llevada a cabo en el mundo virtual tiene su representación física en el mundo real.



**Figura 4.9.** Arquitectura cliente-servidor.

Esos cuatro componentes forman una arquitectura que está estructurada en cinco niveles, que permiten la modularidad de las diferentes funcionalidades necesarias para comunicar los mundos virtuales con las interfaces tangibles (ver figura 4.10). La distribución en capas permite asignar diferentes tareas a cada capa, facilita el mantenimiento del sistema y además permite su modularidad y escalabilidad.



**Figura 4.10.** Arquitectura Virtual Touch.

Las capas de Gestión y de Servicios conforman lo que hemos denominado “middleware”, y contienen el conjunto de procesos y librerías que permiten conectar, de forma sencilla y transparente, por un lado sensores y actuadores, y por otro lado el mundo virtual.

Los sensores y actuadores vendrán proporcionados por tecnologías estándar, como pueden ser Arduino, Phidgets y Microsoft Kinect, que son las tres empleadas en los prototipos desarrollados. Sin embargo, la idea es que la modularización del hardware permite añadir nuevas tecnologías (como podrían ser Lego Mindstorms o KNX) de una manera sencilla. Simplemente implementando un módulo interfaz para dichas tecnologías, quedarían incluidas en la Arquitectura Virtual Touch y podrían ser empleadas de manera transparente para interactuar con el mundo virtual.

La capa de presentación es donde están implementados los prototipos de mundos virtuales para la educación. En esta tesis se han desarrollado varios prototipos de tales aplicaciones, tanto para probar la arquitectura desarrollada, como para disponer de datos experimentales acerca de su utilidad para la educación. El desarrollador de los mundos virtuales no tiene que preocuparse de los aspectos técnicos del empleo de interfaces tangibles. Únicamente, y de una manera sencilla, tiene que asociar determinadas propiedades de objetos del mundo virtual a propiedades de los objetos tangibles, y el middleware se encarga de mantener sincronizados ambos mundos en las dos direcciones. Cambios en el mundo real originan cambios en el mundo virtual y viceversa.

A continuación se detallada el cometido de cada una de las capas.

- **Capa Hardware:** Aquí están los dispositivos tangibles y las distintas tecnologías que los soportan. La capa de Hardware, junto con la de comunicaciones, forman el componente de Interfaces Tangibles.
- **Capa de Comunicación:** Se encarga de establecer la comunicación de los sensores y actuadores con el middleware en base a su tecnología de conexión (WIFI, puerto serie, Ethernet, etc).
- **Capa de Gestión.** Es una capa que permite gestionar y administrar las tecnologías de sensores y actuadores que se quieran emplear. En los prototipos realizados en esta tesis se han empleado tres: Arduino, Phidgets y Microsoft Kinect. La capa de Gestión, junto con el servicio de realidad mixta de la capa de Servicios, forman el núcleo de la arquitectura, encargándose de gestionar y comunicar cada elemento tangible con el mundo virtual. La capa de Gestión, junto con la capa de Servicios, forman el componente de Middleware.
- **Capa de Servicios.** Esta capa contiene un serie de servicios heterogéneos que a continuación se detallan:
  - **Servicio de reconocimiento de gestos y objetos:** Este servicio es el responsable del reconocimiento de gestos, reconocimiento de voz y reconocimiento de formas. Para el reconocimiento de formas se hace uso de la librería OpenCV.
  - **Servicio de Realidad Mixta:** Este servicio es responsable de enviar y recibir mensajes al servidor de mundos virtuales en OpenSim. Este servicio, junto con la capa de Gestión, se encarga de la sincronización entre el mundo virtual y las interfaces tangibles. Cuando un determinado sensor de una interfaz tangible cambia su valor, este servicio se encarga de que la propiedad correspondiente de determinado objeto en el mundo virtual cambie en concordancia. De igual manera, cuando determinadas propiedades de objetos específicos en el mundo virtual cambian, este servicio se encarga de que los actuadores asociados en los interfaces tangibles realicen las acciones acordadas. De esta manera, este servicio es el responsable de que el mundo real y el

mundo virtual “se mezclen” formando un entorno de realidad mixta, donde eventos en uno de los mundos tienen impacto inmediato en el otro mundo.

- **Servicio de gestión de datos:** Este servicio es el responsable del almacenamiento y gestión de datos. Concretamente, algunos de los parámetros de las aplicaciones educativas están almacenados en una base de datos MySQL. Por ejemplo, los cuestionarios de algunas aplicaciones educativas, tanto las preguntas como las respuestas, necesitan de persistencia y emplean este servicio.
- **Servicio de configuración:** Este servicio es el responsable de la configuración del sistema de realidad mixta (por ejemplo para especificar la IP y el puerto del servidor de mundos virtuales). En el caso de usar sensores de las tecnologías Arduino o Phidgets, este servicio se encarga de la configuración de los puertos y de la funcionalidad que tiene dicho sensor dentro del mundo virtual.
- **Capa de Presentación.** La capa de Presentación contiene las aplicaciones educativas que, haciendo uso de las capas inferiores de la arquitectura, integran mundos virtuales e interfaces tangibles. Esta capa se implementa en forma de dos componentes: el Servidor de Mundos Virtuales y el Cliente de Mundos virtuales.

A continuación se detalla el diseño e implementación de las capas de la figura 4.10 en forma de los componentes software de la figura 4.9.

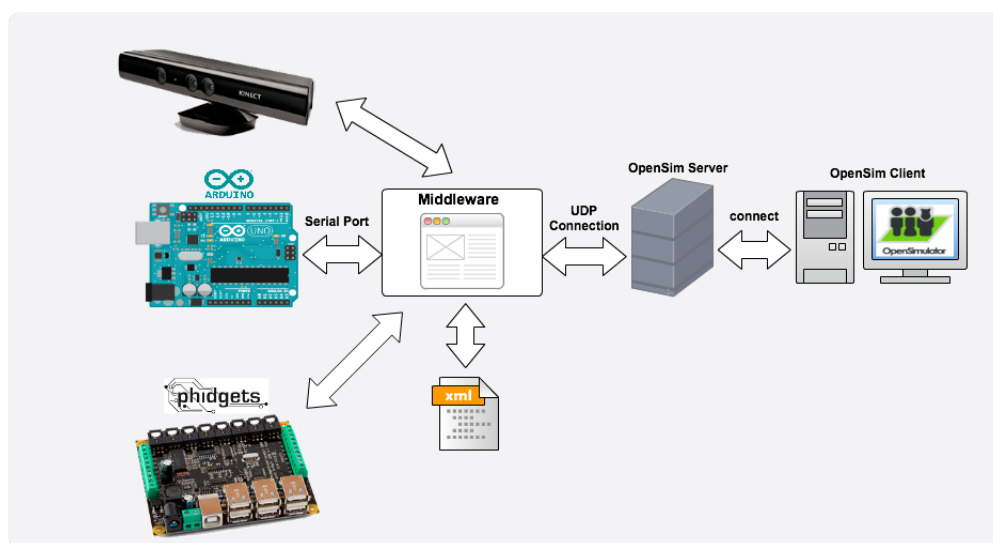
### 4.3.1. Componente de Interfaces Tangibles

El componente de interfaces tangibles implementa las capas de Hardware y de Comunicaciones de la arquitectura Virtual Touch (ver figura 4.10).

La arquitectura Virtual Touch facilita la creación de aplicaciones educativas utilizando las tecnologías Phidgets, Microsoft Kinect y Arduino. De esta forma, un usuario educador es capaz de crear aplicaciones educativas que hagan uso de las tecnologías anteriores y cuyas actividades de enseñanza-aprendizaje se desenvuelvan en un mundo virtual tridimensional. De la misma forma, un usuario educador con elevados conocimientos de informática puede crear una nueva aplicación, bien utilizando las tecnologías anteriores, o incluso incorporando, de una forma sencilla, nuevas tecnologías a la arquitectura. La arquitectura Virtual Touch facilita el arduo proceso de creación de actividades educativas dirigidas a los mundos virtuales y las interfaces tangibles, siendo transparente, modular, interoperable y escalable.

#### 4.3.1.1. Capa de Hardware

Como se puede ver en la figura 4.11, la capa de hardware ha integrado por el momento tres tecnologías para el desarrollo de interfaces tangibles: Microsoft Kinect [119], Arduino [120] y Phidgets [110]. Estas tres tecnologías han sido empleadas dentro de los prototipos desarrollados y evaluados en experiencias reales. La arquitectura proporciona un kit básico que permite a los usuarios educadores con menos conocimientos de informática y electrónica hacer uso de diferentes sensores, necesitando únicamente conectar el dispositivo y realizar unas configuraciones básicas.



**Figura 4.11.** Tecnologías y sensores utilizados en Virtual Touch.

#### Tecnología Phidgets

La tecnología Phidgets [110] corresponde a una serie de microcontroladores que se conectan al ordenador por medio del puerto USB. La tecnología Phidgets es una tecnología barata, sencilla de utilizar, y que se puede programar con varios lenguajes de programación, disponiendo de un conjunto de funciones y procedimientos (API) para cada lenguaje de programación.

La mayoría de los prototipos desarrollados en esta tesis han sido creados usando la tecnología Phidgets. Entre los lenguajes de programación disponibles para esta tecnología están C#, Java, Python y JavaScript, entre otros. En esta tesis, como el middleware está programado con el lenguaje C#, hemos utilizado también dicho lenguaje para la programación de los phidgets.

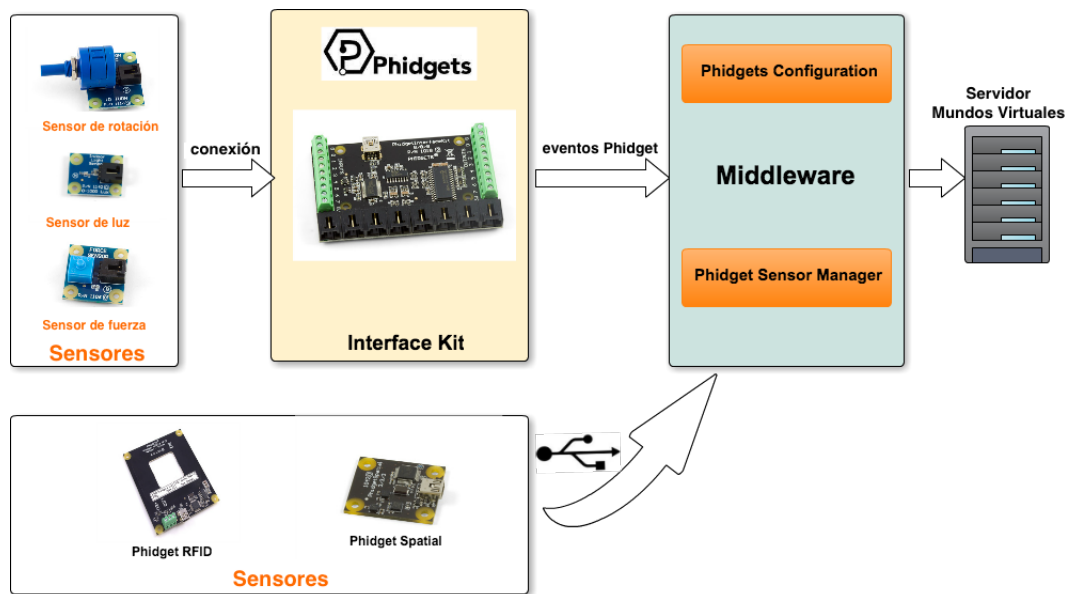
En la tabla 4.12 se pueden visualizar tanto los controladores como los sensores Phidgets usados en los diferentes prototipos creados y una descripción de su funcionalidad.

Phidgets		
Tipo	Phidget	Descripción
Controladores	PhidgetInterfaceKit 8/8/8	Conecta diferentes sensores, controla las salidas y lee las entradas digitales. <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Entradas analógicas:</b> Las entradas analógicas se usan para medir las salidas de voltaje continuo generadas por varios sensores como la temperatura, humedad, posición o la presión.</li> <li><b>Entradas digitales</b> se usan para transmitir el estado de dispositivos como botones, interruptores de límite, relés niveles lógicos.</li> <li><b>Salidas digitales:</b> Las salidas digitales se usan para controlar los LED, los relés de estado sólido, los transistores entre otros.</li> </ul>
	PhidgetRFID Read-Write	Lee y escribe en etiquetas RFID con una distancia de 6 cm. PhidgetRFID permite leer etiquetas RFID al acercarse al lector y devuelve la identificación de la etiqueta. Utiliza el protocolo propio PhidgetTag. Tiene dos salidas digitales etiquetadas +5V y LED.
	PhidgetTextLCD 20X2 Integrado PhidgetInterfaceKit 8/8/8	Corresponde a un PhidgetInterfaceKit con una pantalla LCD retroiluminada en blanco de 2 líneas por 20 caracteres.
Sensores	Potenciómetro lineal	Este sensor es ideal para la entrada del usuario, es un control deslizante con 60mm de recorrido y se conecta a una entrada analógica. La resistencia varía linealmente con la posición del control deslizante.
	Sensor de fuerza	El sensor de fuerza simple se puede usar como un botón para presionar el humano o para detectar la presencia de un objeto pequeño. El sensor lee 0V cuando no se le aplica fuerza. A medida que la fuerza aumenta en el botón circular, el valor aumenta hacia 5V. No es un dispositivo con precisión en el caso de querer usarlo para medición de peso.
	PhidgetSpatial 3/3/3	El PhidgetSpatial 3/3/3 combina la funcionalidad de una brújula de 3 ejes, un giroscopio de 3 ejes y un acelerómetro de 3 ejes. Se conecta al ordenador a través de USB.

Figura 4.12. Controladores y sensores Phidgets.

Phidgets dispone de diferentes tipos de controladores y actuadores, tales como servomotores, relés o sensores RFID. Además dispone de multitud de sensores, tales como sensores de temperatura, sensores de distancia, sensores de luz, sensores de proximidad o sensores de presión, entre otros.

Algunos sensores con salida digital pueden ir conectados directamente por el puerto USB mientras que otros sensores se conectan mediante una placa de Entrada/Salida que permite recibir datos de sensores analógicos. De este modo se pueden controlar las entradas y salidas tanto analógicas como digitales. En la figura 4.13 puede verse un esquema de ambos tipos de conexión. La arquitectura Virtual Touch hace transparente esta complejidad de cara al usuario educador.



**Figura 4.13.** Conexión usando sensores Phidgets.

### Tecnología Arduino

La experiencia Virtual Touch Book ha sido desarrollada utilizando la plataforma de hardware libre Arduino [120]. A partir de esta experiencia, se integró la tecnología Arduino a la arquitectura Virtual Touch.

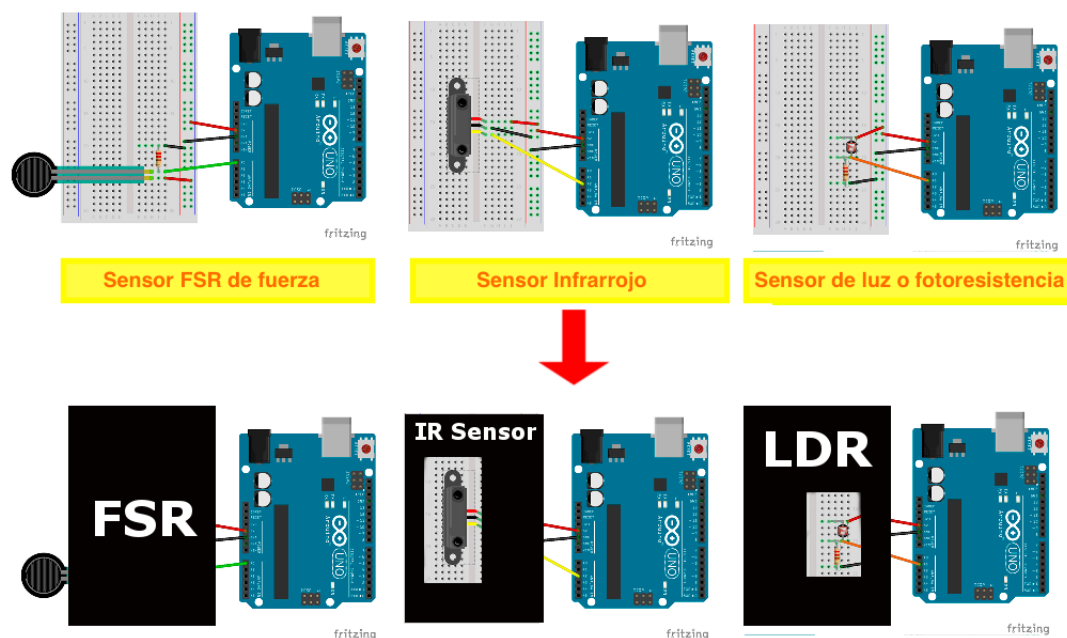
Arduino es una plataforma de hardware libre que está compuesta por un microcontrolador que dispone de puertos de entrada, puertos de salida y puertos de comunicación. Arduino posee una amplia comunidad de usuarios y un lenguaje de programación relativamente sencillo. La comunicación de los sensores Arduino con el ordenador se realiza mediante el puerto serie.

Las principales ventajas de utilizar el microcontrolador Arduino son:

- Precio asequible: Arduino es una tecnología muy económica comparada con otras plataformas de microcontroladores.
- Multiplataforma: Arduino se puede ejecutar en diferentes sistemas como son Windows, Linux y Mac OS.
- Código abierto y hardware libre: Arduino dispone de herramientas de código abierto y de extensiones para programadores más experimentados.
- Multitud de ejemplos y proyectos: Arduino se ha utilizado en multitud de proyectos educativos y dispone de una buena documentación y de ejemplos prácticos muy útiles.

En los prototipos desarrollados con Arduino se ha tenido que utilizar el lenguaje Processing para programar la microcontroladora, lenguaje que es específico de dicha tecnología. Se ha comunicado el microcontrolador Arduino con el middleware desarrollado a través del puerto serie. Como ya se ha comentado antes, toda esta complejidad es transparente para el usuario educador.

Como se puede apreciar en la imagen 4.14, se ha utilizado una protoboard para conectar los diferentes sensores utilizados con Arduino, implementando una caja negra en la que el usuario únicamente tiene que conectar la microcontroladora al dispositivo USB, evitando así que tenga que realizar conexiones o programación, ya que no todo el profesorado tiene conocimientos en electrónica y esto dificultaría la utilización de diferentes sensores y tecnologías.



**Figura 4.14.** Conexión usando sensores Arduino.

### Tecnología Microsoft Kinect

Se ha incorporado la tecnología Kinect para Windows [21] a la arquitectura Virtual Touch para permitir el desarrollo de aplicaciones educativas que requieran el reconocimiento de gestos y el reconocimiento de figuras geométricas. En esta arquitectura se ha utilizado el SDK (Software Development Kit) 2.0 de esta plataforma, que permite a los desarrolladores la creación de aplicaciones con soporte al reconocimiento de texto y de voz. Desafortunadamente, recientemente Microsoft ha suspendido la fabri-



cación del dispositivo Kinect, aunque dicha tecnología sigue existiendo en productos como HoloLens[108], el asistente de voz Cortana y el sistema de identificación facial biométrico de Windows Hello.

#### 4.3.1.2. Capa de Comunicaciones

Esta capa encapsula todos los protocolos y peculiaridades específicas que presenta cada tecnología de la capa de Hardware.

La arquitectura Virtual Touch permite la comunicación a través del puerto serie (Arduino), a través del puerto USB (Phidgets y Microsoft Kinect), a través del puerto Ethernet (Arduino), y a través de comunicación inalámbrica WIFI.

Se han desarrollado una serie de librerías que hacen transparentes los detalles técnicos de la comunicación con los sensores y actuadores de cara al resto de la arquitectura. Si se añade una nueva tecnología, basta con desarrollar un nuevo módulo en esta capa que por un lado sea capaz de comunicarse con la nueva tecnología, y por el otro se comunique con la capa de servicios (el middleware) de la arquitectura. Una vez hecho esto, el resto de los módulos (incluidos los mundos virtuales) pueden acceder a los datos del sensor o actuador de forma transparente.

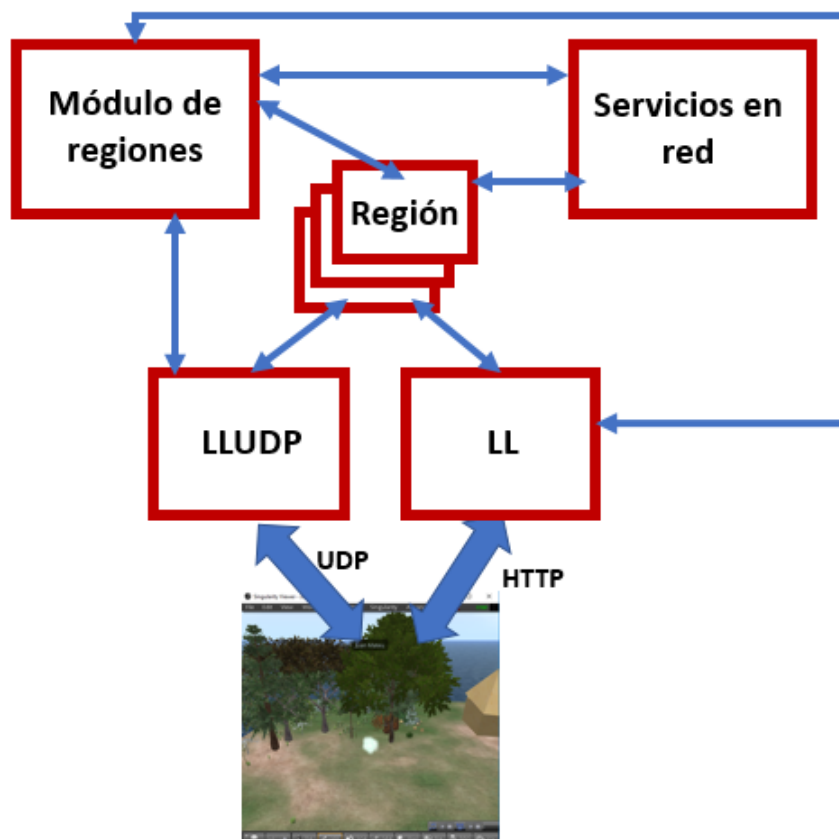
En cuanto a la comunicación dentro de la capa de presentación, entre los componentes de Cliente y Servidor de Mundos Virtuales, se utilizan los siguientes protocolos:

- **Protocolo HTTP.** El protocolo HTTP se utiliza a nivel de aplicación. OpenSim lo utiliza para informar sobre las regiones y servicios de back-end que ofrece, como por ejemplo el servicio de inventario (acceso a texturas, notas, partes del avatar, etc.) Los teleports (teletransportación de objetos o avatares) también se llevan a cabo mediante el protocolo HTTP.
- **Protocolo UDP.** El protocolo UDP se utiliza, entre otras cosas, para actualizar los objetos primitivos del mundo virtual y para actualizar las posiciones de los avatares.
- **Otros protocolos.** Los mundos virtuales utilizan otros protocolos adicionales. Por ejemplo, el protocolo MPEG-V incluye un mecanismo de interacción para contenidos multimedia y multi-sensoriales, proporcionando interoperabilidad entre los mundos virtuales. Entre otras cosas permite comunicar el mundo real y los mundos virtuales y además permite controlar los avatares mediante la expresión facial o controlar objetos desde el mundo real al mundo virtual.

En la figura 4.15 se puede observar la organización de OpenSim. Como se pue-

de apreciar, el visor de los mundos virtuales interactúa con el simulador de mundos virtuales a través de mensajes TCP y UDP. Las regiones y los módulos de regiones se registran para eventos con mensajes UDP (por ejemplo, para la manipulación del inventario). Los eventos se invocan cuando la pila del cliente LLUDP recibe las peticiones desde el visor de mundos virtuales. Del mismo modo, las regiones y los módulos de regiones enviarán mensajes a LLUDP (por ejemplo movimiento de avatares y objetos) al visor de mundos virtuales.

Las capacidades LL se refieren al mecanismo de paso de mensajes que usa el protocolo HTTP. Las capacidades LL se usan para mensajes que no son críticos y que utilizan gran cantidad de datos (por ejemplo petición de texturas al inventario). Las regiones y los módulos de regiones se comunican con los servicios de red para buscar los datos necesarios relativos a los activos del avatar (scripts, texturas, etc.).



**Figura 4.15.** Protocolos de comunicación en OpenSim.

### 4.3.2. Componente de Middleware

El componente de middleware implementa la capa de Gestión y la capa de Servicios. El componente middleware se encarga de gestionar y configurar los sensores y actuadores de las tecnologías incorporadas a la arquitectura. Además, mediante los diferentes servicios que ofrece, permite la gestión y la configuración de todos los parámetros que se integran en la arquitectura desarrollada. El componente middleware es una pieza clave dentro de la arquitectura Virtual Touch, siendo el mecanismo que permite la creación de aplicaciones educativas de una forma rápida, sencilla y transparente.

#### 4.3.2.1. Capa de Gestión

La capa de Gestión es la siguiente capa dentro de la arquitectura Virtual Touch, estando situada encima de las capas de Hardware y de Comunicaciones, y encargándose de gestionar y configurar los sensores presentes en las tecnologías de Arduino, Phidgets y Microsoft Kinect. La capa de Gestión dispone de una serie de manejadores asociados a las tecnologías que permiten responder a los posibles eventos que pueden ocurrir. Por ejemplo, si se acerca una etiqueta RFID a un lector de RFID, el sistema detecta el evento y capta la información presente en la etiqueta RFID.

La capa de Gestión dispone de un conjunto de funciones y rutinas estándar en forma de API (Application Programming Interface) que permite al usuario programador acceder a los servicios de una determinada tecnología. Por ejemplo, si se necesita gestionar el dispositivo Phidget RFID, aprovechando las funciones implementadas junto con el API propio que dispone Phidgets, se puede utilizar la propiedad para habilitar la antena para que pueda detectar y leer etiquetas RFID o usar el método *obtenerTag()* que permite leer el valor de la última etiqueta RFID que se ha acercado al lector de Phidgets RFID. De esta manera, disponemos de una serie de propiedades, métodos y eventos que permiten gestionar los diferentes controladores y sensores.

En la imagen 4.16 vemos un fragmento de uno de los métodos manejadores de eventos usados en la tecnología Phidgets para la lectura de RFIDs, que permite gestionar las acciones oportunas según si ha detectado alguna etiqueta RFID o si se acaba de quitar además del manejo de excepciones en caso de errores.

```
//attach event handler...display the serial number of the attached RFID phidget
static void rfid_Attach(object sender, AttachEventArgs e)
{
    Console.WriteLine("RFIDReader {0} attached!",e.Device.SerialNumber.ToString());
}

//detach event handler...display the serial number of the detached RFID phidget
static void rfid_Detach(object sender, DetachEventArgs e)
{
    Console.WriteLine("RFID reader {0} detached!",e.Device.SerialNumber.ToString());
}

//Error event handler...display the error description string
static void rfid_Error(object sender, ErrorEventArgs e)
{
    Console.WriteLine(e.Description);
}
```

**Figura 4.16.** Ejemplo de manejador de eventos con Phidgets RFID.

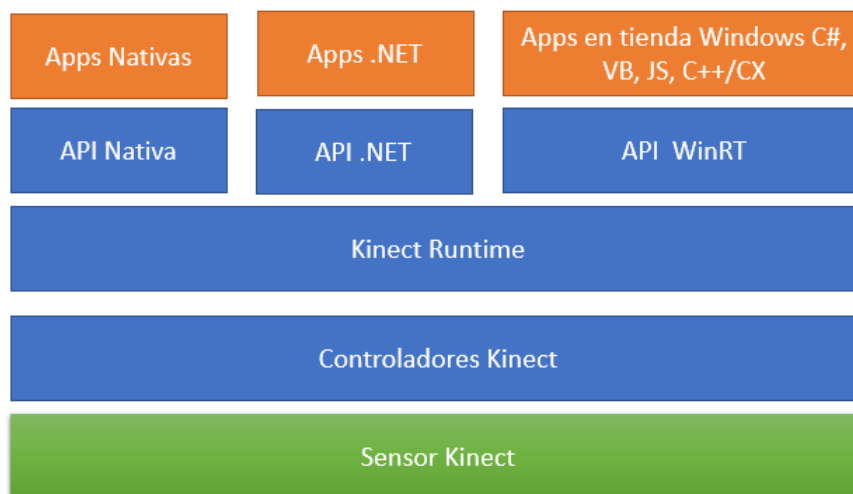
La capa de gestión es una capa de abstracción que ofrece de manera modular y transparente una gran variedad de propiedades, métodos y eventos. Además, la arquitectura permite añadir nuevos métodos o eventos de una forma sencilla, sin necesidad de modificar la estructura del middleware. Estas modificaciones de la capa de gestión están reservadas al usuario educador avanzado, según se definió en anteriores capítulos. Este tipo de usuario podría incluso añadir una nueva tecnología de sensores y actuadores a la arquitectura Virtual Touch, gracias a la modularidad que ofrece el sistema.

La arquitectura Virtual Touch ha integrado la tecnología Microsoft Kinect con el objetivo de utilizar el reconocimiento de gestos para actividades NUI (Natural User Interface) y el reconocimiento de figuras geométricas para actividades TUI (Tangible User Interface). La arquitectura Virtual Touch ha aprovechado los componentes que conforman la arquitectura de Kinect para Windows, incorporando los métodos y manejadores necesarios para su gestión.

En la figura 4.17 vemos la arquitectura de Kinect para Windows, que se ha tenido en cuenta a la hora de integrar Kinect al middleware. La arquitectura de Kinect dispone del componente hardware, de los sensores Kinect y del controlador USB que se conectará al ordenador. La capa correspondiente a los controladores incluye parte de los drivers que se usan para instalar los sensores que forman parte de Kinect (micrófonos, audio, vídeo y sensor de infrarrojos). Posteriormente, se encuentra el Kinect Runtime para ofrecer todos los controladores y el entorno de ejecución necesario para el desarrollo de aplicaciones usando el sensor Kinect. En la parte superior encontramos las diferentes APIs utilizadas en aplicaciones nativas o para diferentes sistemas auxiliares, como la KinectAudio DirectX Media Object (DMO), que permite ampliar el soporte de micrófonos de Windows, y el API de Windows 7, mejorando el soporte del sonido y el reconocimiento de voz, entre otros.

### 4.3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA

---



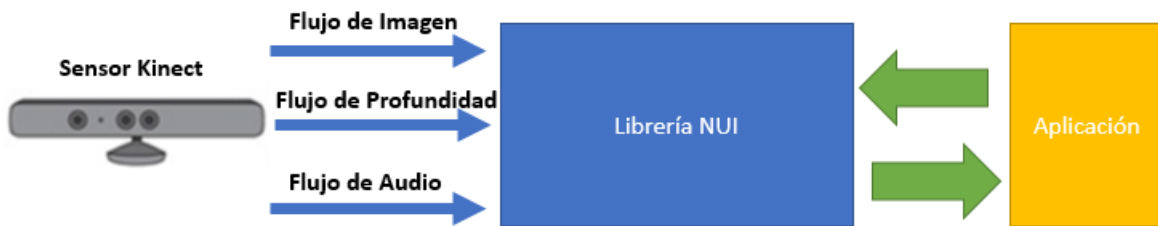
**Figura 4.17.** Arquitectura Kinect para Windows.

El dispositivo Kinect dispone de múltiples sensores; la NUI API permite enumerar y modificar su configuración. De esta forma, la NUI (Natural User Interface) API interactúa con la cámara, los sensores y los motores y permite al desarrollador utilizar el seguimiento del esqueleto, la medición de la profundidad, etc. La NUI API permite el acceso a los siguientes datos de imagen que proporciona el sensor Kinect:

- Color: Permite captar el flujo de vídeo de la imagen.
- Profundidad: Permite captar la profundidad del flujo de vídeo.
- Índice de jugador: Permite asignar un índice a cada jugador (usuario) identificado.
- Seguimiento del esqueleto: Permite utilizar los datos de posición y seguimiento del esqueleto. Los datos obtenidos son denominados joints y corresponden a puntos concretos que definen un cuerpo humano. En total se dispone de 20 joints, contando las partes del cuerpo y sus articulaciones (cabeza, hombros, codos, rodillas, etc.)[121].

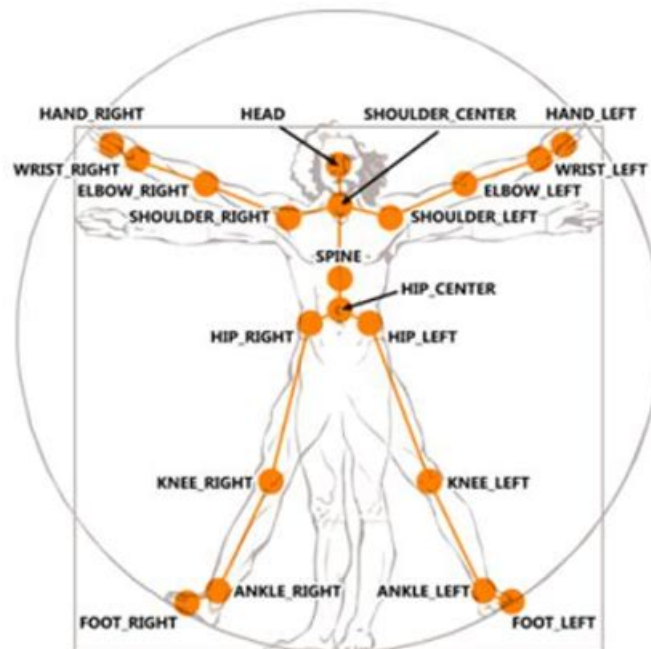
La Kinect SDK dispone de una serie de herramientas y bibliotecas que permiten a los programadores crear una aplicación que reacciona a los eventos captados del exterior de una forma fácil.

En la imagen 4.18 se visualiza como la API NUI es capaz de capturar los datos (imagen, profundidad y audio) que capta a través de los sensores Kinect.



**Figura 4.18.** API NUI para Kinect.

En la figura 4.19) se pueden ver las joints y articulaciones que proporciona la Kinect y que permiten el reconocimiento de gestos.



**Figura 4.19.** Articulaciones Kinect.

Las tres tecnologías que hemos discutido se han incorporado, respetando la singularidad de cada una, a la arquitectura Virtual Touch. Dicha incorporación se ha realizado definiendo propiedades estándar para cada una de las funcionalidades ofrecidas (por ejemplo una propiedad de encendido/apagado para los sensores tipo interruptor), y programando los módulos necesarios para incorporar dichas propiedades desde los datos obtenidos de sensores de las tres tecnologías. Dichos módulos son el lugar donde, mayoritariamente, se encuentra todo el código que es específico de cada tecnología. Añadir una nueva (por ejemplo Lego Mindstorms o KNX) implicaría, fundamentalmente, crear un nuevo módulo en esta capa.

#### 4.3.2.2. Capa de Servicios

La capa de Servicios es la capa que está a continuación de la capa de Gestión y ofrece una serie de servicios para la configuración y la conexión con los mundos virtuales.

La capa de Servicios dispone de cuatro tipos de servicios que se han integrado en la arquitectura: servicio de reconocimiento de gestos y objetos, servicio de realidad mixta, servicio de gestión de datos y servicio de configuración.

El servicio de reconocimiento de gestos y de objetos integra la API de Kinect para que las aplicaciones educativas puedan interaccionar con los mundos virtuales a través de gestos o de la voz. En esta capa se añaden los manejadores oportunos para facilitar la tarea de creación de nuevos gestos, que podrán ser utilizados en las aplicaciones educativas.

El servicio de realidad mixta se encarga de comunicar y sincronizar la conexión entre los mundos virtuales y las interfaces tangibles.

Los servicios de gestión de datos y de configuración se encargan de almacenar y configurar todos los parámetros necesarios para el desarrollo de las aplicaciones educativas con el objetivo de integrar de manera transparente la heterogeneidad de las tecnologías incorporadas en la arquitectura presentada en esta tesis.

La arquitectura permite añadir cualquier nueva tecnología de sensores que se quiera integrar al sistema sin modificar absolutamente nada de la capa de servicios. Por lo tanto, aunque se añada una nueva tecnología o se modifique una tecnología ya presente en el sistema, el resto del sistema funcionará sin ningún tipo de cambios, debido a que los componentes software están modularizados y aislados dentro de una arquitectura multicapa.

#### 4.3.3. Componentes de Mundos Virtuales: Cliente y Servidor

Los componentes Cliente y Servidor de Mundos Virtuales implementan la capa de presentación. Las capas inferiores independizan los aspectos técnicos de las interfaces tangibles de su empleo en el mundo virtual, consiguiendo así una total transparencia en la implementación de la realidad mixta.

Tras un estudio comparativo de las diferentes plataformas de mundos virtuales utilizadas especialmente en ambientes educativos, se ha visto que Active Worlds [122], Open Wonderland (continuación de Project Wonderland en código abierto) [123], Second Life [124] y OpenSimulator [125] son las más populares y extendidas. En esta

tesis se ha decidido utilizar OpenSimulator debido a que es un servidor tridimensional multiplataforma basado en los protocolos de Second Life, pero con código abierto (bajo la licencia BSD), y que además permite la creación de un servidor propio, posee una comunidad activa de desarrolladores y es más versátil a la hora de crear el middleware que permite la comunicación entre mundos virtuales e interfaces tangibles. A pesar de que Second Life es más popular que otras plataformas de mundos virtuales, cabe destacar que Second Life no es apto para menores de 18 años, por lo que no es adecuado para su empleo en Educación Secundaria. Por otro lado, Second Life no es gratuito: para crear islas y objetos es necesario pagar licencias. Ambos aspectos ocasionaron que se descartara Second Life como plataforma de mundos virtuales para la arquitectura Virtual Touch.

Por otro lado, OpenSim es una plataforma de código abierto que, evitando costes de licencias de software, nos proporciona la posibilidad de crear nuestros propios servidores privados. De esta forma se pueden controlar exactamente los usuarios que están conectados al mundo virtual, sin que haya ninguna posibilidad de que se conecten usuarios indeseados. Además, OpenSim dispone de una activa comunidad de usuarios que comparten todas las problemáticas que se van encontrando, y ofrecen respuesta y soluciones prácticas a dichas problemáticas.

OpenSim ofrece la opción de emplear un sistema de gestión del aprendizaje (LMS: Learning Management System). Sloodle [126] es un proyecto de código abierto que permite unir las funciones del LMS Moodle [127] a las de OpenSim. Sin embargo en esta tesis se ha decidido no usar esta opción, ya que al modificar el tipo de interacción con el mundo virtual mediante el middleware desarrollado, hubiera sido necesario modificar sustancialmente el propio código de Sloodle, lo que quedaría fuera del ámbito de la tesis.

En la tabla 4.1 se hace una comparativa entre las principales características de Second Life y OpenSim.



### 4.3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA

Características	OpenSim	Second Life
Web	<a href="http://opensimulator.org/">http://opensimulator.org/</a>	<a href="https://secondlife.com/">https://secondlife.com/</a>
Licencia	Licencia BSD	Código Propietario de pago. (Linden Lab)
Simulación física	Varios motores, física en tiempo real incluido ODE.	Motor de física Havoc
Lenguajes de programación	LSL, OSSL, C# y VB.NET	LSL
Desarrollo y modularidad	Permite desarrollo, personalización de módulos.	No
Volumen de avatares	Escalable según capacidad del servidor.	Miles
Conexión con plataformas LMS:	Sloode: conexión Moodle y OpenSim.	Sloode: conexión Moodle y Second Life.
Sistemas de voz	FreeSwitch, Whisper/-Mumble.	Vivox
Moneda virtual	Linden y Open Metaverse Currency (OMC).	Linden Dollar

**Tabla 4.1.** Comparativa Opensim vs Second Life.

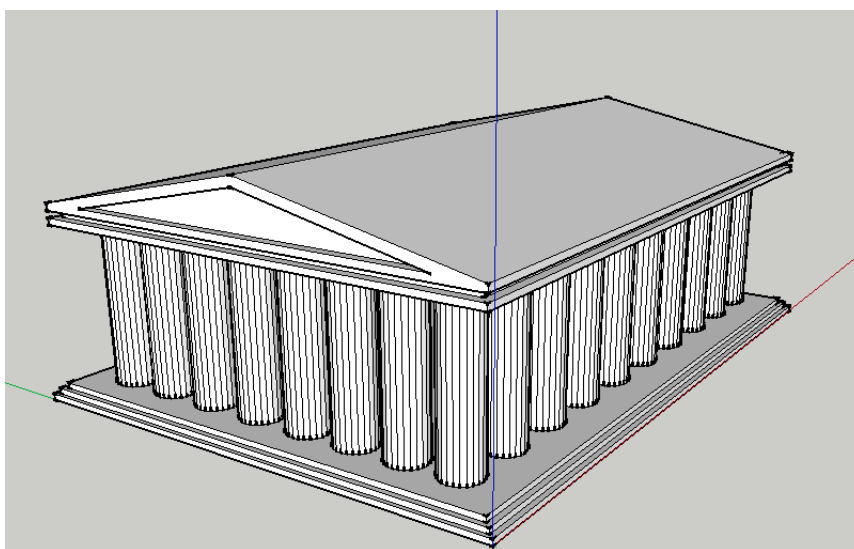
Según Vosinakis et al. [128] las tres principales razones para escoger OpenSim frente a Second Life son:

- **Visualización y funcionalidad.** No hay diferencias significativas entre OpenSim y Second Life. OpenSim soporta la mayoría de las funciones de Second Life.
- **Coste económico.** En Second Life se paga por tener un terreno privado y también por las diferentes imágenes cargadas. En OpenSim se dispone de terreno ilimitado, así como de un número ilimitado de imágenes y texturas sin ningún coste añadido.
- **Grabación de datos.** En OpenSim, se puede grabar la voz de todas las sesiones directamente desde el servidor mientras que con Second Life solo podríamos grabar conversaciones públicas a corta distancia.

OpenSim es un servidor para la creación de mundos virtual tridimensionales mucho más realista que otros entornos, como por ejemplo Minecraft. Entre otras cosas, OpenSim permite la importación de modelos y estructuras tridimensionales en estándares abiertos mediante formatos como “collada” (.dae) o XML, producidas por herramientas de modelado 3D, como SketchUp [129] o Blender [130]. De esta forma, se puede exportar desde dichas herramientas un modelo tridimensional de una casa, una ciudad o un

objeto con todas sus propiedades y texturas e importarlo al mundo virtual, facilitando así la creación de modelos reales. Por otro lado se puede emplear cualquiera de los modelos 3D gratuitos que hay en la Web, representando edificios conocidos, animales, casas, paisajes, etc.

Por ejemplo, la figura 4.20 muestra un modelo del Partenón encontrado dentro de la galería de SketchUp, que posteriormente se importó para su uso en el mundo virtual. Este objeto se empleó dentro del proyecto de Virtual Touch Book (ver capítulo 5), en el que se llevó a cabo una experiencia donde los alumnos aprendieron la Grecia Clásica. El aprendizaje de la Grecia Clásica mediante las construcciones arquitectónicas de la época visualizadas en tres dimensiones favoreció la obtención de un aprendizaje significativo.



**Figura 4.20.** Modelo tridimensional del Partenón en SketchUp.

Otras de las ventajas que tiene OpenSim es la posibilidad de crear scripts de programación mediante el lenguaje LSL (Linden Scripting Language). El lenguaje LSL es un lenguaje de programación orientado a eventos similar a C o Java. El lenguaje de programación LSL permite programar respuestas a cualquier tipo de evento, por ejemplo, que al tocar un determinado objeto cambie de color, o que haya un determinado tipo de comunicación entre dos objetos. De esta forma, OpenSim permite desarrollar cualquier tipo de actividad y para cualquier tipo de nivel y materia, ya que se puede dotar de comportamiento arbitrario a todos los objetos.

En la figura 4.21 se puede observar un fragmento de código escrito con el lenguaje LSL en el que se cambia el color de un objeto cuando un avatar lo toca, visualizando además un mensaje informativo.

### 4.3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA

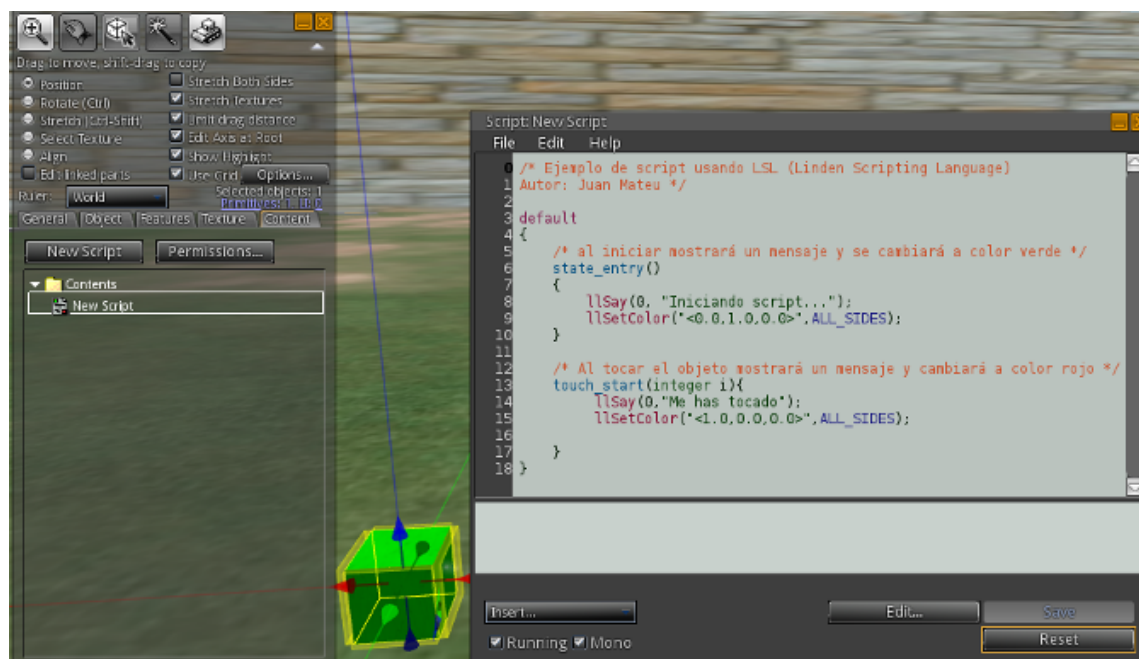


Figura 4.21. Ejemplo de programación de scripts con LSL.

La comunicación de OpenSim con un servidor web se realiza mediante funciones propias del protocolo HTTP, disponibles en el lenguaje de programación LSL. De esta forma, se pueden consultar datos de ficheros o de bases de datos desde el mundo virtual o se pueden consultar las propiedades de un determinado objeto desde el servidor web.

En la imagen 4.22 se muestra la comunicación que se produce desde el mundo virtual a un servidor web. En este caso, desde el mundo virtual se realiza una determinada petición que el servidor web atiende y envía la respuesta. Por ejemplo, si se ha cambiado una propiedad de un determinado objeto y se desea almacenar el valor correspondiente de la propiedad en una base de datos, se realiza la petición al servidor web usando la función `llHTTPRequest`.

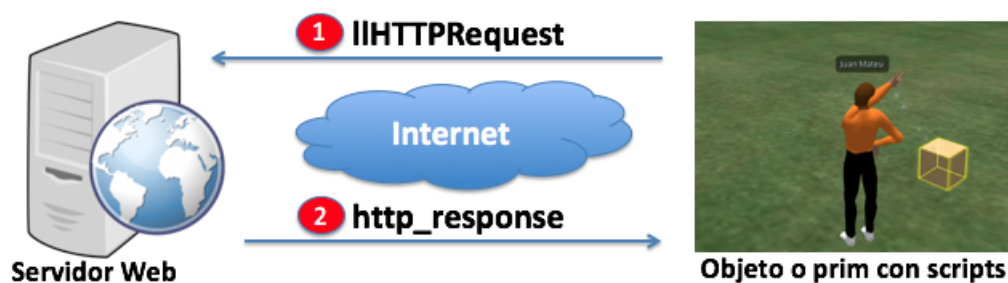
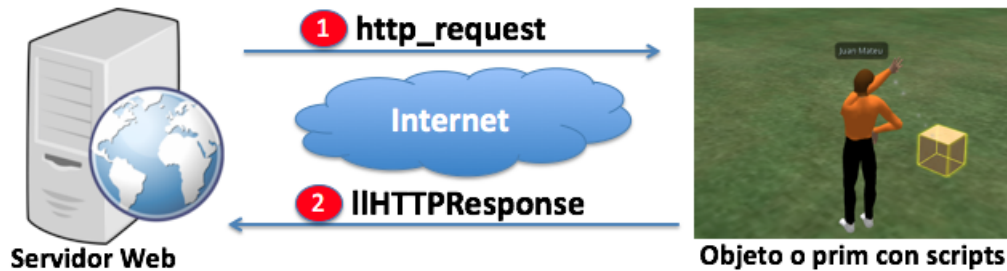


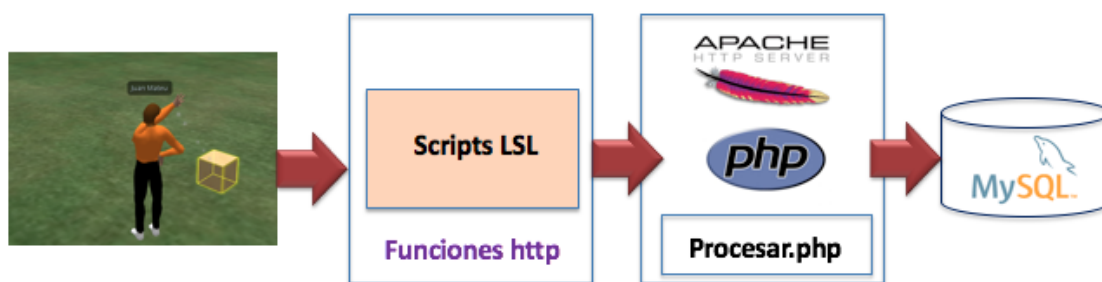
Figura 4.22. Comunicación HTTP desde los mundos virtuales al servidor

En la figura 4.23 se visualiza la comunicación en el caso en que el servidor web envía una petición y que el mundo virtual, por medio de un determinado objeto, responde a la petición solicitada. En esta opción se permite leer un determinado valor presente en el mundo virtual desde el servidor web.



**Figura 4.23.** Comunicación HTTP desde el servidor a los mundos virtuales.

En el esquema 4.24 se puede apreciar que dentro de OpenSim se pueden crear scripts que utilicen las funciones HTTP para así poder hacer uso de programas escritos en el lenguaje PHP, presentes en un servidor web como Apache, y que al mismo tiempo estos ficheros PHP pueden almacenar datos en un fichero de texto o en una base de datos. En la experiencia de Virtual Touch Book había una parte de evaluación de contenidos y para ello, tanto las preguntas como las respuestas se recuperaban de una base de datos creada con el sistema gestor MySQL.



**Figura 4.24.** Comunicación HTTP mediante scripts en OpenSim.

Otra funcionalidad interesante que ofrece OpenSim es la posibilidad de crear bots conversacionales en forma de personajes que responden automáticamente a las cuestiones que les preguntemos o que realizan una serie de acciones programadas y automatizadas. De esta forma, los bots conversacionales facilitan la interacción con los avatares presentes en el mundo virtual. Por ejemplo, se puede disponer de un bot conversacional dentro de una universidad virtual que se encargue de ofrecer información sobre horarios, ubicaciones dentro de la propia universidad (biblioteca, aulas, etc.) e

informaciones diversas. Por otro lado, se puede usar un bot conversacional para simular un habitante de la Grecia Clásica que explique aspectos culturales de la época a los alumnos, o implementar un determinado personaje que ofrezca pistas que sean útiles para resolver un determinado enigma.

OpenSim está programado con el lenguaje C#, que también se puede utilizar dentro del mundo virtual para la programación de scripts, para programar los bots conversacionales, y para programar las clases necesarias para conectar con bases de datos o con diferentes APIs.

En esta tesis se ha utilizado la librería LibOpenMetaverse [131] para comunicar los mundos virtuales con las interfaces tangibles. LibOpenMetaverse es una librería .NET que contiene una serie de funciones que permiten el acceso y la creación de mundos virtuales y que ha sido integrada en la arquitectura desarrollada.

La conexión a un servidor de mundos virtuales se realiza a través de un cliente, que en este caso sería un visor para mundos virtuales. Hay una gran variedad de visores para mundos virtuales, como por ejemplo Hippo Viewer, Firestorm, Imprudence Viewer y Singularity Viewer [132]. En las experiencias llevadas a cabo en esta tesis se ha utilizado Singularity Viewer.

A continuación se muestran a modo resumen las principales características que posee OpenSim:

- Es de código abierto y con licencia BSD.
- Posee una amplia comunidad de desarrolladores.
- Protege la privacidad siendo un entorno privado y restringido.
- Permite el desarrollo y la integración de nuevas funcionalidades.
- Permite la importación de modelos 3D mediante herramientas de modelado y creación de objetos 3D (por ejemplo Blender y SketchUp).
- Posee un lenguaje de programación de scripts propio y además permite la programación con otros lenguajes, como C#.
- Permite la creación de bots conversacionales.
- Permite la utilización de librerías externas.
- Permite la utilización de versiones portables (dispositivos usb o pendrive o versiones modificadas de OpenSim).

- Permite la vinculación de cursos y plataformas e-learning (por ejemplo la plataforma Sloodle conecta el entorno virtual de aprendizaje Moodle con los mundos virtuales).

OpenSim dispone de algunas opciones interesantes que citamos a continuación:

- Versiones portables y distribuciones paralelas. Por ejemplo, la plataforma Simonastick [133] permite instalar Opensim en un dispositivo USB. También hay distribuciones paralelas con regiones preconfiguradas o preparadas para utilizar WIFI como ofrece el sitio web Metaverse Ink. [134].
- Congresos, conferencias. OpenSim posee una comunidad bastante activa y cabe destacar la existencia de conferencias genéricas anuales, como la conferencia on-line OpenSim [135], o conferencias orientadas a aplicaciones, como la Eurocall [136], que está orientada al aprendizaje de idiomas empleando mundos virtuales.
- Creación de animaciones. Se pueden utilizar algunos programas como Qavimator [137] para crear animaciones y movimientos predefinidos que usan el formato BVH de Second Life. De esta forma se pueden utilizar ciertos movimientos o gestos a través de los avatares.
- Tiendas y hosting de mundos virtuales (marketplace). Hay ciertas aplicaciones o sitios web como Kitley [138] que permiten comprar objetos para nuestros mundos virtuales o alquilar regiones para crear nuestros propios mundos virtuales.

A pesar de que OpenSim es uno de los entornos más adecuados para su aplicación en contextos educativos, también presenta una serie de problemas que hay que tener en cuenta.

En primer lugar, OpenSim necesita de una infraestructura que incluya una máquina que haga de servidor de mundos virtuales donde se almacenarán todas las regiones, avatares, objetos, etc. y que por este motivo deberá ser bastante potente. Además se requieren conocimientos específicos para crear y configurar los mundos virtuales.

En segundo lugar, está la problemática relativa a las conexiones y a la apertura de los puertos. En los centros educativos (especialmente en los centros públicos) es muy habitual encontrar un firewall de seguridad para las redes del centro que impide la utilización de puertos distintos de los estándar dentro del protocolo TCP/IP. Como OpenSim utiliza algunos puertos no estándar, se tiene que pedir autorización para su apertura, y este proceso administrativo puede ser largo y tedioso. Desde el momento que se solicita la apertura de puertos hasta que realmente se realiza pueden pasar varios meses y esto puede acarrear problemas de organización para empezar a trabajar con los mundos virtuales.

En tercer lugar, cabe destacar la velocidad de conexión que hay en los centros educativos, donde la gran mayoría tienen un ancho de banda bastante limitado y que al tener demasiadas conexiones simultáneas, todavía hace que la conexión a la red sea más lenta. Debido a esta problemática, es muy complicado tener un aula con decenas de ordenadores y que todo el alumnado esté conectado al mismo tiempo sin tener problemas de conexión o pequeños 'lags'. Además del problema de la conexión, también se debe tener en cuenta que los equipos informáticos suelen contar con tarjetas gráficas de gama baja que pueden dificultar el correcto desempeño de los visores de mundos virtuales.

La problemática de las restricciones de edad que tiene Second Life no aparece si se emplea OpenSim, ya que los servidores son propios y el entorno es cerrado y restringido para el alumnado. Pero sí que hay que asegurarse de que el equipo de profesorado que va a utilizar los mundos virtuales en sus clases (sea como proyecto, como un taller o como una actividad alternativa) tenga los conocimientos adecuados, y para ello hay que hacer un esfuerzo de formación en este área. Por ejemplo, según hemos visto antes, un profesor debería saber exportar un modelo de SketchUp a OpenSim, o saber crear diferentes objetos y, aunque sea de forma muy básica, saber dotarlos de comportamiento mediante la programación de scripts.

Otro detalle, y no menos importante, es la necesidad de realización de copias de seguridad por parte del encargado del proyecto o de quién disponga de mayor conocimiento de informática y de los mundos virtuales. El hecho de realizar copias de seguridad periódicas evitará la pérdida accidental de objetos y otros problemas no deseados en la isla virtual. Hay que tener en cuenta que es muy difícil controlar todas las acciones realizadas por los alumnos dentro de los mundos virtuales.

Coban et al. [139] recopilan algunos de los problemas que con mayor frecuencia pueden suceder al usar OpenSim:

- Pueden existir problemas técnicos durante la ejecución del servidor.
- Las características de los equipos pueden ser ineficientes y pueden dar problemas de congelado o freezing.
- Puede no resultar posible recuperar los objetos eliminados en el mundo virtual.
- Pueden encontrarse problemas con la descarga de objetos desde el servidor o requerir un tiempo excesivo.
- No resulta sencillo activar los complementos multimedia.
- La interfaz software para acceder a los mundos virtuales no permite el diseño de objetos de forma sencilla.
- No hay suficientes fuentes apropiadas a todas las lenguas.

- El proceso de diseño requiere mucho tiempo y esfuerzo.
- Las coordenadas de los objetos pueden ser confusas y por consecuencia dificulta el diseño de los objetos.
- Puede ser complicado encontrar suficiente información técnica o recibir ayuda.
- Los archivos de audio no deben superar los 10 segundos.
- Resulta complicado desarrollar interacciones entre los objetos 3D o realizar simulaciones físicas.
- Los usuarios se quejan de la complejidad de las interfaces utilizadas para acceder a los mundos virtuales y esto deriva en problemas de motivación por las expectativas de los usuarios.

A modo de resumen, a continuación se indican los principales aspectos que se deben tener en cuenta para utilizar mundos virtuales en un centro educativo.

1. Disponer de un servidor para mundos virtuales que sea potente.
2. Comprobar el ancho de banda del centro educativo.
3. Gestionar permisos, apertura de puertos, listado de IPs, etc.
4. Comprobar las características de los equipos informáticos (tarjeta gráfica, memoria RAM, etc).
5. Limitar el número de accesos simultáneos para evitar retardos.
6. Establecer un plan de formación al profesorado para que sepan interactuar en los mundos virtuales.
7. Participación en proyectos educativos y vinculación con comunidades educativas.
8. Establecer una serie de normas de comportamiento dentro del mundo virtual, ya que es difícil controlar los avatares y las acciones que realizan.
9. Realizar copias de seguridad periódicas de nuestras islas virtuales.

Para atender al menos los primeros cuatro puntos sería importante disponer de un técnico informático que gestionará y configurará tanto los equipos como el servidor de mundos virtuales, ya que estas tareas son bastante complicadas para el profesorado que no tenga suficientes conocimientos en informática. El técnico informático también se encargaría de gestionar las copias de seguridad.



Por otro lado, se necesitaría un profesor con conocimientos de informática y de mundos virtuales que facilitará y coordinará la formación al resto del profesorado y les acompañará en el proceso de aprendizaje.

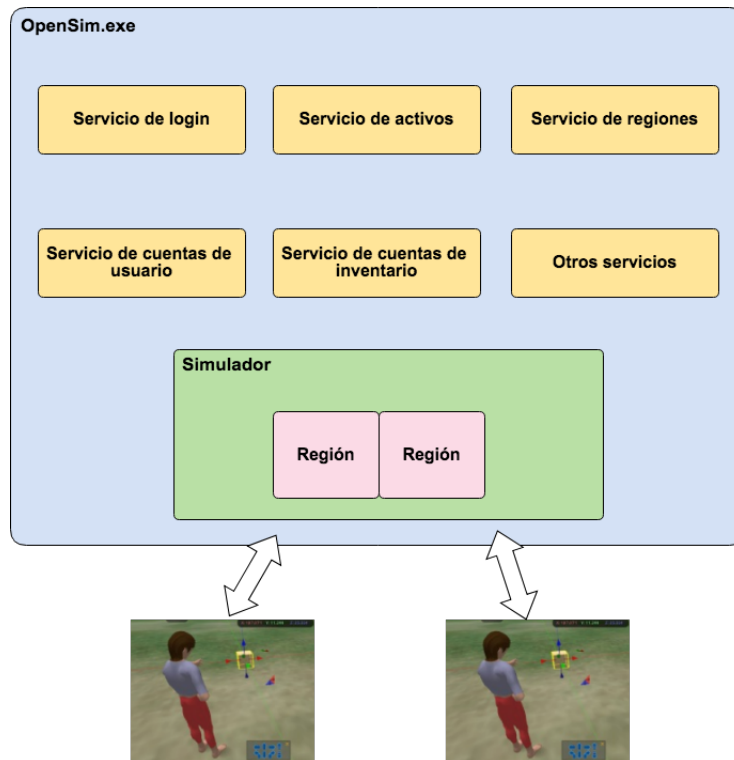
Además de un profesor que coordine dicha formación del profesorado, sería muy interesante participar en proyectos educativos que integren el uso de mundos virtuales con el fin de aprender y compartir conocimientos y recursos. Por ejemplo, el proyecto Avatar [140] es un proyecto europeo en el que participan cinco universidades europeas (además de otras dos entidades) y permite el desarrollo de las competencias metodológicas y pedagógicas para el uso didáctico de los mundos virtuales entre los docentes. Este tipo de proyectos facilitan la adquisición de las herramientas pedagógicas y técnicas a los docentes para impartir docencia en un entorno tridimensional. También son destacables otros proyectos como NIFLAR [49], TILA [50], o el más reciente proyecto TeCoLa [48] que se integra dentro del marco de Erasmus+ y que utiliza herramientas de telecolaboración gamificadas con el objetivo de favorecer la enseñanza y el aprendizaje de las lenguas extranjeras. En este proyecto se implementan interacciones en un mundo virtual, vídeo comunicación y juegos online que sirven de apoyo en los intercambios pedagógicos entre alumnos de escuelas de Secundaria de Europa.

#### 4.3.4. Arquitectura y configuración de OpenSim

En esta sección se comenta brevemente la configuración que necesita OpenSim para su funcionamiento, y que se puede consultar desde la propia página de OpenSimulator [125]. OpenSimulator necesita una base de datos para poder almacenar toda la información necesaria: datos de los usuarios, scripts y objetos. OpenSim utiliza por defecto el sistema de gestor de bases de datos SQLite para aplicaciones simples, aunque se recomienda emplear el gestor de bases de datos MySQL para aplicaciones más complejas.

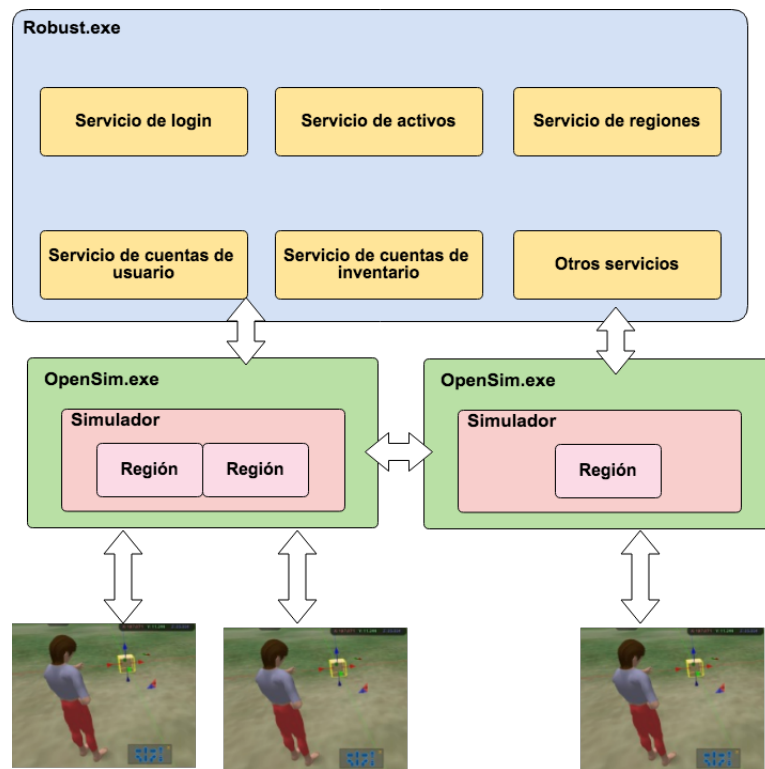
La configuración de OpenSim consta de un conjunto de regiones (ejecuta un simulador de regiones) y una parte de servicios de datos (usuarios, activos y gestión de inventario). Por otro lado, OpenSim permite ejecutarse en base a dos tipos de configuración una en modo individual o autónomo (standalone) y otra en modo de red (grid).

En el caso del modo autónomo, un único proceso contiene tanto el simulador de la región como los datos de los servicios de datos. De este modo, se pueden ejecutar las regiones que se desee, pero en una única máquina. La ventaja del modo autónomo es la facilidad que conlleva su configuración, pero con la gran desventaja de que no es escalable y por tanto si crece el número de usuarios y se necesitan más regiones se tendrán muchas limitaciones.



**Figura 4.25.** Configuración OpenSim modo autónomo.

En el modo en red (grid) los servicios de datos no forman parte del proceso del servidor de regiones. En el modo de red, el servicio de los datos se ejecuta en un proceso diferente: Robust.exe. De este modo, se puede repartir el trabajo entre varias máquinas, y el proceso OpenSim.exe simplemente actúa como el servidor de regiones y sirve a una o más regiones que se comunican con los servicios de los datos por separado. En definitiva, el modo grid permite a múltiples instancias de OpenSim ejecutarse desde diferentes máquinas pero usando el mismo conjunto de servicios (login, inventario, etc.). La gran ventaja del modo grid es la escalabilidad, ya que permite incrementar tanto el número de usuarios como el número de regiones sin problemas, incrementando cuando sea necesario el número de máquinas empleado.

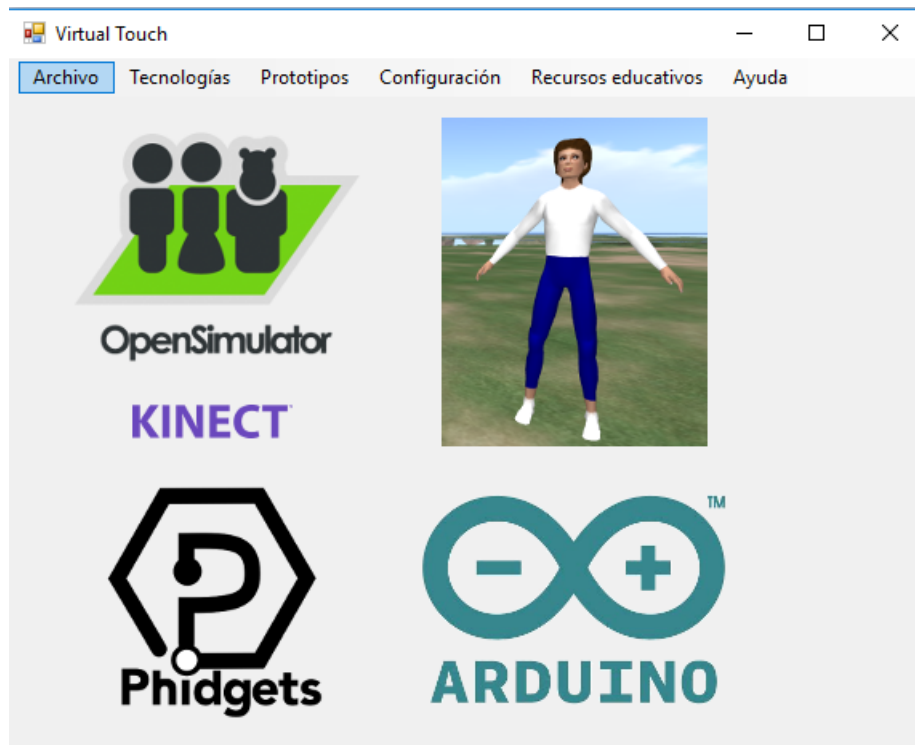


**Figura 4.26.** Configuración OpenSim modo red.

Los servicios de los que dispone OpenSim son:

- Servicio de login: maneja el inicio de sesión del usuario.
- Servicio de activos: permite almacenar los datos relativos a las texturas, objetos, scripts, etc.
- Servicio de Grid: almacena información de la región para un grid.
- Servicio de Cuentas de Usuario: almacena información de las cuentas de cada usuario (nombre del avatar, URL del servicio, el nivel del usuario, etc.).
- Servicio de Inventario: permite almacenar el inventario del usuario (objetos, texturas, scripts, etc.)
- Otros servicios. OpenSim dispone de otros servicios como el servicio de voz (Freeswitch), el servicio de Avatar, o el servicio de presencia (que registra las sesiones del usuario y su localización concreta en una región).

Finalmente, dentro de la capa de presentación se ha implementado otro componente que solo se emplea durante las tareas de pruebas de la arquitectura. Este componente consiste en una pantalla de configuración con la que se pueden gestionar tanto los mundos virtuales como las interfaces tangibles. La aplicación permite configurar todos los dispositivos y sensores para que se comuniquen con el mundo virtual de una forma rápida y sencilla (ver figura 4.27).

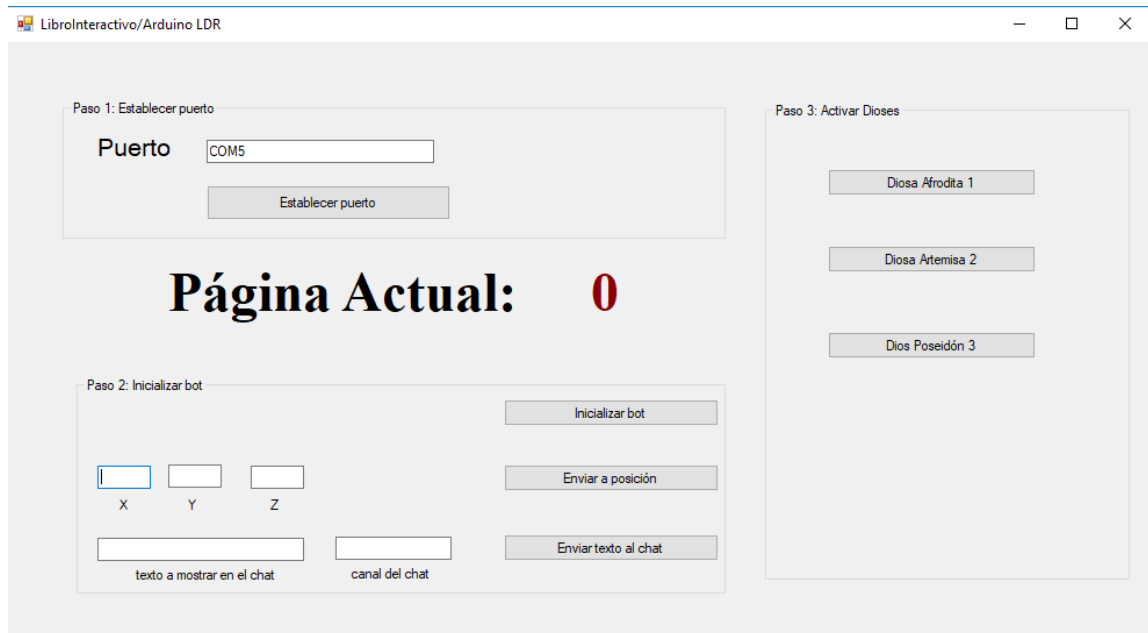


**Figura 4.27.** Pantalla de configuración de Virtual Touch.

### 4.3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA

---

Por ejemplo, en la imagen 4.28 se visualiza la pantalla de configuración que permite probar la conexión entre Arduino y los mundos virtuales, interfaz que se utilizó en la experiencia realizada con el prototipo de libro tangible Virtual Touch Book (ver capítulo 5).



**Figura 4.28.** Pantalla de configuración de Virtual Touch Book.





## 5 Trabajo experimental

### 5.1. Introducción

En este capítulo se describen las experiencias educativas realizadas usando los prototipos funcionales desarrollados, que conectan los mundos virtuales con las interfaces tangibles. Las experiencias se han realizado en centros educativos de Educación Secundaria, Bachillerato y ciclos formativos de grado medio y contando con la participación de usuarios educadores con diferentes niveles de conocimientos de informática.

En cada experiencia, atendiendo a una problemática específica, se ha empleado un prototipo funcional de interfaz tangible (ver tabla 5.1), con el objetivo de probar los desarrollos técnicos realizados y evaluar los beneficios educativos que aporta el sistema de realidad mixta desarrollado. Los prototipos funcionales, dentro de un proceso iterativo e incremental, han permitido incorporar tres tecnologías a la arquitectura Virtual Touch: Phidgets, Microsoft Kinect y Arduino. Los prototipos funcionales están dirigidos a los usuarios educadores que quieren incorporar la realidad mixta al proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes para obtener un aprendizaje significativo.

En el capítulo 4 (Arquitectura Virtual Touch) se han descrito los tres tipos de usuarios educadores que pueden utilizar el sistema Virtual Touch, que atendiendo a su nivel de conocimientos informáticos son: el usuario básico, el usuario medio y el usuario avanzado. En general, el usuario básico corresponde a un profesor/a con escasos conocimientos de informática (profesor de Matemáticas, profesor de Historia, etc.), el usuario intermedio corresponde a un docente con conocimientos básicos de informática y alguna experiencia en la creación e interacción con mundos virtuales, y finalmente el usuario avanzado corresponde a un desarrollador que es capaz de programar sus propios módulos y añadir otro tipo de dispositivos o sensores a la arquitectura desarro-

llada. Además, contamos con el usuario alumno que es el que realiza las experiencias e interactúa con los tangibles y los mundos virtuales.

En las cinco experiencias realizadas han participado un total de 247 estudiantes de diferentes cursos y niveles.

Nombre	Tangibles utilizados	Descripción	Centro educativo	Nº alumnos
<b>Cúbica</b> [111] [113] [141]	Lector de RFID con la tecnología Phidgets, cubos con tags RFID y estructura de madera que simula un vector o array.	Enseñanza de los algoritmos de ordenación (burbuja, inserción directa y ordenación por selección).	IES Joan Coromines (Benicarló)	42
<b>Virtual Touch Eye</b> [114] [70] [113] [141]	Dispositivo Microsoft Kinect y figuras de madera (pentágono, triángulo, cubo, etc.) como elementos tangibles.	Enseñanza del catalán a alumnos inmigrantes y a alumnos con necesidades educativas especiales.	IES Ernest Lluch (Cunit)	10
<b>Virtual Touch Book</b> [115] [113] [141]	Maqueta de madera que representa el libro tangible, páginas de cartón con sensores de luz usando la tecnología Arduino.	Aprendizaje de la cultura griega en la Grecia Clásica, además del aprendizaje del catalán.	IES Ernest Lluch (Cunit)	20
<b>Virtual Touch PrimBox</b> [116]	Tablero con lectores Phidgets RFID, tarjetas con tags RFID y un LCD Display.	Desarrollar la comunicación geométrica y la percepción espacial de los alumnos.	Florida Secundaria	62
<b>Virtual Touch FlyStick</b> [116]	Modelo similar a un joystick que integra un giroscopio que forma parte de la tecnología Phidgets.	Aprendizaje de las diferentes secciones cónicas.	Florida Secundaria	113

**Tabla 5.1.** Casos de estudio realizados.



### 5.2. Experiencia 1: Virtual Touch Cúbica

Cúbica es el primer prototipo de sistema educativo empleando realidad mixta que se implementó como parte de la investigación realizada en esta tesis doctoral. También supuso la primera versión de la arquitectura Virtual Touch, descrita en anteriores capítulos. El principal objetivo pedagógico de Cúbica es ayudar al aprendizaje de los algoritmos de ordenación: burbuja, inserción y selección directa. Para ello, se ha utilizado un entorno de realidad mixta, que permite al estudiante interactuar de forma directa con las interfaces tangibles y con el entorno tridimensional que proporciona el mundo virtual OpenSim.

El prototipo Cúbica ha sido probado en el centro educativo IES Joan Coromines (Benicarló, Castellón). En este apartado se detalla la experiencia realizada, junto con los resultados obtenidos.

#### 5.2.1. Objetivo educativo

La experiencia se llevó a cabo en el Instituto de Educación Secundaria IES Joan Coromines de Benicarló (Castellón). Participaron un total de 42 estudiantes con una edad entre 15 y 17 años, perteneciendo a distintos niveles educativos.

El objetivo educativo de esta experiencia consiste en facilitar el aprendizaje de los algoritmos de ordenación, concretamente el algoritmo de inserción, el algoritmo de selección directa y el algoritmo de la burbuja. La dificultad de la enseñanza de conceptos abstractos, que resultan difíciles de explicar y de representar en la pizarra, hace atractiva la opción de utilizar un mundo virtual que represente una isla virtual tridimensional con diversas actividades de enseñanza-aprendizaje, junto con una interfaz tangible que permita al alumno interactuar de una forma más sencilla y natural con el mundo virtual. En esta experiencia se evalúan los beneficios que pueden tener las interfaces tangibles a la hora de aprender los algoritmos de ordenación y cómo puede facilitar el seguimiento de las diferentes iteraciones que tienen los algoritmos citados. En esta experiencia, en segunda instancia también se enseña a los estudiantes conceptos básicos de la programación, como son las variables, los bucles y las iteraciones.

El sistema Cúbica está formado por una isla virtual llamada 'Algoritmia Island' junto con una interfaz tangible que está formada por una estructura de madera, que representa un array, y unos cubos de gomaespuma, que representan los elementos del array. Dentro de la clasificación de tangibles que se discutió en el Capítulo 2 de esta memoria, la maqueta de madera forma parte de los tangibles inspirados por Montessori y propuestos por Zuckerman et al. [75]. El tangible se considera "*present-at-hand*" debido a que el tangible requiere la atención para la realización de la actividad.

Cúbica	
<b>Fundamentos pedagógicos</b>	Se basa en el constructivismo propuesto por Piaget. El tangibles es del tipo “ <i>present-at-hand</i> ”, debido a su importancia en la realización de la actividad.
<b>Objetivos educativos</b>	El principal objetivo es la enseñanza de los algoritmos de ordenación (burbuja, inserción y selección). En segunda instancia se enseñan otros conceptos básicos de programación.
<b>Aportaciones Mundo virtual</b>	La isla “Algoritmia Island” tiene diferentes “casas temáticas” donde en cada casa se explica un algoritmo de ordenación. La isla virtual dispone de diferentes actividades de enseñanza-aprendizaje con las que los avatares pueden interactuar.
<b>Aportaciones interfaces tangibles</b>	La maqueta de madera como analogía del array ha facilitado la comprensión de los conceptos relativos a la programación. Los tangibles permiten llevar un mejor seguimiento de las iteraciones de cada algoritmo de ordenación.

**Tabla 5.2.** Objetivos Educativos de Cúbica.

### 5.2.2. Objetivo técnico

El objetivo técnico de esta experiencia fue crear una primera versión de la Arquitectura Virtual Touch, integrando la tecnología Phidgets dentro de la misma. Cúbica es el primer prototipo funcional que se ha diseñado, implementado y probado de la arquitectura Virtual Touch.

El sistema Cúbica está formado por una parte tangible, que es la estructura de madera que simula el concepto de vector o array, y por una parte virtual que es la isla de Algoritmia, donde los estudiantes pueden desarrollar diferentes actividades educativas mediante la interacción con los elementos tangibles. Cualquier acción llevada a cabo en el mundo real (movimiento de los cubos) tiene su consecuencia en el mundo virtual, lo cual facilita el seguimiento de las diferentes acciones y de los algoritmos estudiados. El mundo virtual ofrece una retroalimentación en cada una de las iteraciones que se siguen en cada algoritmo de ordenación. De esta forma, en todo momento el estudiante sabe si realmente está siguiendo el proceso correctamente.

## 5.2. EXPERIENCIA 1: VIRTUAL TOUCH CÚBICA

---

En la tabla 5.3 se muestran todos los componentes que forman parte del sistema Cúbica. En esta primera experiencia, el usuario educador participante, a pesar de tener conocimientos de informática, carecía de conocimientos relativos a los mundos virtuales y a las interfaces tangibles, por lo que solamente realizó las configuraciones básicas del sistema.

<b>Cúbica</b>	
<b>Molde de madera</b>	Simula el concepto de array o vector.
<b>Cubos con tags RFID</b>	Simulan los elementos o valores a introducir en el array.
<b>Lectores Phidgets RFID</b>	Se sitúan debajo de cada agujero del molde de madera y permiten la lectura de los valores de cada cubo.
<b>Pantalla Phidgets LCD</b>	La pantalla muestra una retroalimentación sobre la actividad realizada.
<b>Middleware</b>	Permite la configuración del servidor de mundos virtuales y gestiona la comunicación de los mundos virtuales con las interfaces tangibles.
<b>Mundo virtual</b>	Se ha creado un isla virtual llamada 'Algoritmia Island' que contiene "casas temáticas" donde se encuentran diferentes recursos educativos: vídeos, paneles explicativos y ejercicios prácticos sobre los algoritmos de ordenación.
<b>Tipo de usuario educador</b>	En esta experiencia ha participado un usuario básico que.

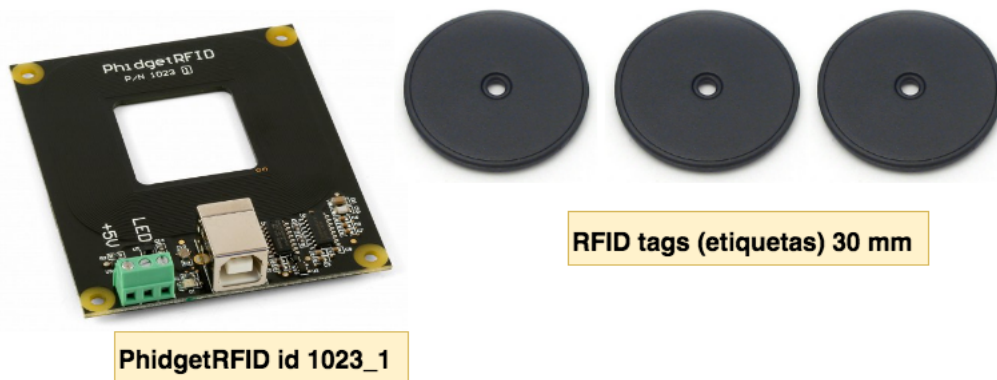
**Tabla 5.3.** Componentes de Cúbica.

La interfaz tangible de Cúbica está formada por una maqueta de madera que simula el concepto de array o vector. La maqueta de madera cuenta con espacios que permiten la inserción de los cubos que simulan los elementos a insertar en el array (ver figura 5.1). Adicionalmente, el sistema dispone de una pantalla LCD que permite mostrar un feedback sobre la correcta realización del algoritmo de ordenación.



**Figura 5.1.** Maqueta de madera Cúbica.

A nivel técnico, el principal objetivo era combinar la parte tangible, que estaba formada por la tecnología Phidgets, con el mundo virtual creado con OpenSimulator. La estructura de madera disponía de lectores Phidgets RFID en cada uno de los huecos, mientras que las etiquetas RFID se incorporaron dentro de los diferentes cubos de gomaespuma. De esta forma, al colocar un cubo en uno de los agujeros, automáticamente se leía su valor (ver figura 5.5).



**Figura 5.2.** Phidgets RFID.

El Phidget RFID es un lector de etiquetas por radiofrecuencia (RFID) que devuelve el valor numérico que tiene cada una de las etiquetas insertadas dentro de los cubos de gomaespuma. De esta forma, atendiendo al identificador de cada etiqueta, se puede saber en todo momento el cubo que se está leyendo. Para esta experiencia se han tenido en cuenta varios aspectos relacionados con los sistemas RFID (identificación de frecuencia de radio), como por ejemplo la distancia de los cubos con respecto al lector RFID, ya que es necesario que estén en una área cercana para poder leer el valor de cada etiqueta. También hay que tener en cuenta que, al utilizar varios lectores RFID, es importante considerar la separación entre ellos para evitar la problemática de tener un cubo (con su etiqueta RFID) que sea leído por varios lectores al mismo tiempo. Guardando la separación adecuada, se evitarán conflictos de lectura de etiquetas que realmente se encuentran en otras posiciones.

## 5.2. EXPERIENCIA 1: VIRTUAL TOUCH CÚBICA

---

Una vez que el lector de RFID está en funcionamiento, se debe asociar al mundo virtual para que de esta forma cualquier cambio en el mundo real tenga su efecto en el mundo virtual. Para ello se implementó una primera versión del middleware Virtual Touch, en la que se han combinado las librerías oportunas para trabajar con la tecnología Phidgets junto con la librería LibOpenMetaverse [131]. Ésta última es una colección de librerías de la plataforma .NET escritas en el lenguaje de programación C# y que permite interactuar con mundos virtuales.

Para la creación del mundo virtual se necesita de un servidor de mundos virtuales y de un visor tridimensional que permita conectarse al servidor. En esta primera versión, se implementó el servidor de mundos virtuales en la propia aula de informática, para trabajar en modo local. Esta decisión vino motivada por los problemas que se encontraron en cuanto a la apertura de puertos para conectarse al servidor, problema que es común a muchos centros educativos. En estos casos se debe realizar una petición al servicio de Soporte y Asistencia Informática, cuyo proceso puede ser bastante largo. A pesar de implementar el servidor de mundos virtuales en local, la velocidad de conexión resultó ser bastante limitada, debido al escaso ancho de banda de que disponen los centros educativos públicos. Se realizaron diferentes pruebas de rendimiento, de las que se dedujo que no se podían conectar más de 12 usuarios simultáneos, o de otra manera empezaba a aparecer “lag” (retrasos) en el comportamiento del mundo virtual.

El sistema Cúbica cuenta con una isla virtual donde se realizan las diferentes actividades de enseñanza/aprendizaje. La isla virtual, que permite la realización de actividades relativas a los algoritmos de ordenación, se llama ‘Algoritmia Island’ (ver figura 5.3). La isla virtual cuenta con diferentes casas temáticas (ver figura 5.4) donde los alumnos pueden encontrar diversos paneles explicativos y actividades relativas a los algoritmos de ordenación (burbuja, inserción y selección directa). Los alumnos pueden navegar por la isla virtual visitando cada casa temática. De esta forma pueden trabajar de forma autónoma y a su propio ritmo.

En la figura 5.3 se observa un avatar que está explorando la isla virtual de ‘Algoritmia Island’ y que se acerca a las casas temáticas que contienen actividades educativas para el aprendizaje de los algoritmos de ordenación. Como se puede apreciar, la isla virtual tiene una casa temática asociada a cada algoritmo de ordenación y una casa genérica que explica los conceptos básicos para el aprendizaje de la programación.



**Figura 5.3.** Algoritmia Island.

En la figura 5.4 vemos el avatar (representación del estudiante en el mundo virtual) dentro de la casa temática del algoritmo de ordenación de intercambio directo o burbuja. Entre los diferentes recursos, el estudiante puede encontrar ejemplos de iteraciones resueltas sobre dicho algoritmo, paneles explicativos, e incluso vídeos con el seguimiento de todo el proceso de ordenación. Por otra parte, cada casa temática dispone de la reproducción exacta de la estructura de madera tangible, para que el alumno pueda realizar ejercicios prácticos usando los cubos tangibles.



**Figura 5.4.** Casas temáticas en la isla virtual de Algoritmia.



## 5.2. EXPERIENCIA 1: VIRTUAL TOUCH CÚBICA

---

En la imagen 5.5 se observa el prototipo de la maqueta de madera que representa el concepto de vector o array y los cubos que representan el concepto de elementos del array. En el mundo virtual se puede observar la reproducción exacta del mundo real donde cualquier cambio que realicemos en el mundo real se llevará a cabo en el mundo virtual.



**Figura 5.5.** Sistema Cúbica.

### 5.2.3. Desarrollo de la experiencia

La experiencia se ha desarrollado en un centro Educación Secundaria (IES Joan Coromines) de Benicarló (Castellón). Esta experiencia se llevó a cabo en diferentes niveles educativos; concretamente se realizó con alumnos de primero, segundo y cuarto curso de la ESO (Educación Secundaria Obligatoria), en segundo curso de Bachillerato y además en dos cursos de Grado Medio de Informática (ciclo formativo en Sistemas Microinformáticos y Redes).

La experiencia se dividió en tres sesiones de una hora. La primera sesión se dedicó a la familiarización con los mundos virtuales. En esta sesión, los estudiantes cambiaron el aspecto de su propio avatar, exploraron la isla virtual y aprendieron a utilizar las diferentes herramientas disponibles en el mundo virtual, como es el caso del chat de texto y de voz, la realización de gestos, etc. También aprendieron a volar y a moverse por la isla virtual. En esta primera sesión, los estudiantes aprendieron a crear objetos, a cambiar las texturas de los objetos, a mover dichos objetos, a utilizar los tres ejes de coordenadas (X,Y,Z) y finalmente aprendieron a programar el comportamiento de un

objeto utilizando los scripts, aunque de una forma muy básica.

La segunda sesión tuvo como objetivo el aprendizaje de los algoritmos de ordenación (burbuja, inserción y selección directa), aunque previamente se explicaron conceptos claves para el aprendizaje de la programación: qué es un algoritmo, qué es un array, qué es una iteración, etc. Una vez explicados estos conceptos, los estudiantes empezaron a explorar las casas temáticas y realizaron las actividades propuestas. Concretamente hay cuatro casas temáticas: una de introducción a los conceptos de programación y las otras tres dedicadas a los algoritmos de ordenación. En cada casa temática hay diferentes tipos de recursos, como por ejemplo códigos QR, paneles explicativos, vídeos de Youtube o animaciones relativas a los algoritmos de ordenación. En esta segunda sesión se realizaron actividades colaborativas en las que los alumnos, por parejas, intentaban ordenar un vector situando cada elemento del array en su posición, siguiendo los pasos del algoritmo de ordenación estudiado.

En la tercera sesión, los estudiantes siguieron realizando ejercicios dentro del mundo virtual y practicando los algoritmos de ordenación. Cada estudiante realizó dos tests utilizando el tangible (estructura de madera que simula el array) con dos algoritmos de ordenación diferentes. El alumno debía de seguir todas las iteraciones y además debía de comprobar si lo estaba realizando bien, según la pantalla LCD auxiliar y el color que se visualizaba debajo de cada elemento en el mundo virtual. Los resultados de los tests fueron publicados en la cuenta de Twitter del profesor, aunque en todo momento estaban visualizando el proceso que seguían los estudiantes.

Una vez finalizadas las tres sesiones previstas, se realizó una sesión adicional correspondiente a la evaluación del aprendizaje mediante una serie de tests. Para ello, se realizaron una serie de ejercicios similares a los realizados en la tercera sesión y que el alumno tenía que resolver utilizando los mundos virtuales y las interfaces tangibles.

Los alumnos practicaron los diferentes algoritmos de ordenación usando la interfaz tangible que representa la analogía del concepto de vector o array. Se comprobó que la interacción con interfaces tangibles facilitó el entendimiento de conceptos abstractos, especialmente en los alumnos más jóvenes. El sistema permitió a los estudiantes llevar un seguimiento más intuitivo sobre los diferentes elementos y su colocación en cada una de las iteraciones que tiene el algoritmo de ordenación en cuestión. En la figura 5.6 podemos apreciar la manipulación directa de la interfaz tangible en el momento de intercambiar valores en el proceso de ordenación de un determinado algoritmo. Las interfaces tangibles facilitaron la interacción con los mundos virtuales y además permitieron centrarse en la propia actividad que se estaba llevando a cabo.





**Figura 5.6.** Estudiante interactuando con Cúbica.

Una vez los alumnos ya habían practicado tanto en el mundo virtual como con la interfaz tangible, se pasó a realizar los tests para evaluar el aprendizaje. Como puede apreciarse en la figura 5.7, los estudiantes realizaron una serie de tests de evaluación similares a los ejercicios realizados previamente en las sesiones anteriores.



**Figura 5.7.** Estudiante realizando evaluación con Cúbica.

## 5.2.4. Análisis de resultados

Tras la realización del prototipo Cúbica y su evaluación en el centro educativo IES Joan Coromines (Benicarló, Castellón), se realizó un análisis y una valoración de los resultados obtenidos en base a los resultados académicos y educativos de los estudiantes. Por otro lado, se analizaron los resultados técnicos valorando la implementación del primer prototipo y del diseño e implementación de la arquitectura Virtual Touch.

### 5.2.4.1. Resultados educativos

En la tabla 5.4 se pueden observar los resultados obtenidos en los tests de evaluación realizados tras la finalización de las sesiones prácticas. En los tests se valoró tanto la usabilidad del sistema (parte tangible y mundo virtual) como si realmente el sistema les había sido útil y les había ayudado a resolver correctamente los algoritmos de ordenación.

## 5.2. EXPERIENCIA 1: VIRTUAL TOUCH CÚBICA

Preguntas	Sí	No
¿Has jugado alguna vez con mundos virtuales (World of Warcraft, Sims, etc.)?	36(86 %)	6(14 %)
¿El sistema ha sido fácil de utilizar?	42(100 %)	0(0 %)
¿Crees que el sistema te ha sido de ayuda para entender el concepto de array?	40(95 %)	2(5 %)
¿Has entendido mejor los algoritmos de ordenación utilizando los mundos virtuales con respecto a las explicaciones en la pizarra?	35(83 %)	7(17 %)
¿El sistema Cúbica te ha ayudado a responder los ejercicios?	33(79 %)	9(21 %)
¿El sistema Cúbica te ha ayudado a distinguir los diferentes algoritmos de ordenación?	37(88 %)	5(12 %)
¿La interfaz tangible te ha ayudado a entender como funcionan los algoritmos de ordenación?	41(97.6 %)	1(2.4 %)
¿Crees que el uso de los mundos virtuales te ha motivado a trabajar más duro en clase?	38(90.5 %)	4(9.5 %)
¿Te han parecido interesantes las sesiones interactuando con mundos virtuales?	42(100 %)	0(0 %)
¿Dedicarías más tiempo a estudiar en casa si pudieras usar los mundos virtuales?	35(83 %)	7(17 %)
¿Te gustaría participar en futuras sesiones?	42(100 %)	0(0 %)

**Tabla 5.4.** Cúbica: Resultados de la encuesta a 42 estudiantes.

Analizando los resultados obtenidos en la tabla 5.4 se deducen las siguientes conclusiones:

- **Motivación y experiencia previa:** Vemos que el 86 % de los alumnos han jugado alguna vez a juegos como el World of Warcraft, Sims, Minecraft, etc. Esto significa que la gran mayoría de estudiantes dedican bastantes horas en casa a jugar a videojuegos similares, y por lo tanto el hecho de integrar este tipo de juegos con fines educativos les hace aumentar significativamente su motivación y su interés por la actividad que están realizando. Este resultado confirma que no les importa dedicar más tiempo a realizar cualquier tarea dentro de un mundo virtual, a diferencia de las actividades tradicionales que intentan terminar cuanto antes. En el cuestionario hay otra cuestión relacionada con la anterior en la cual el 90.5 % de los estudiantes piensan que el uso de los mundos virtuales les ha motivado a trabajar más duro, por lo que se puede deducir que la motivación y el interés aumentaron significativamente. La cuestión sobre si les ha parecido interesante la sesión es muy contundente: al 100 % de los estudiantes les ha gustado

la experiencia y el 100 % volvería a participar en otras sesiones similares.

- **Usabilidad del sistema:** En la encuesta realizada se observa que al 100 % de los alumnos les parece sencillo el sistema, tanto en la parte de los mundos virtuales como cuando hacen uso de las interfaces tangibles. En esta experiencia la observación fue un factor a tener en cuenta y se comprobó que los alumnos aprendieron a utilizar el mundo virtual muy rápidamente (en pocos minutos) y sin apenas explicaciones. Los alumnos son nativos digitales y cualquier tecnología no les parece difícil de utilizar, por lo que tienen una rápida adaptación al entorno.
- **Tangible como analogía de array.** En este cuestionario se evalúa si realmente el hecho de utilizar una maqueta de madera que simula el concepto de array o vector les facilita el entendimiento de conceptos abstractos. El 95 % de los estudiantes piensan que el sistema les ha ayudado a entender el concepto de vector o array, por lo que se puede deducir que la interacción con las interfaces tangibles ha sido sumamente útil para comprender el proceso seguido en la ordenación de los elementos usando los algoritmos citados. Mediante la manipulación de los datos y su colocación en el array simulado, les resultó más fácil a los estudiantes entender el concepto de array, comparado con la alternativa de visualizarlo en papel o en la pizarra. En el cuestionario se aprecia que el 97.6 % de los estudiantes piensan que la maqueta de madera les ha sido útil para entender cómo funcionan los algoritmos de ordenación. Ésto es debido a que las interfaces tangibles permiten llevar un mejor seguimiento de cada iteración.

Los resultados de los tests realizados según los diferentes cursos y niveles educativos se presentan en la tabla 5.5.

Curso	Test perfecto	Test con 1 fallo	Test más de 1 fallo
Ciclo formativo grado medio (grupo mañana)	6(54.5 %)	3(27.3 %)	2(18.2 %)
Ciclo formativo grado medio (grupo tarde)	2(20 %)	0(0 %)	8(80 %)
Segundo Bachillerato (17 años)	1(25 %)	3(75 %)	0(0 %)
4º curso ESO (15 años)	7(53.8 %)	3(23.1 %)	3(23.1 %)

**Tabla 5.5.** Cúbica: Resultado de los tests por cursos.

En la tabla 5.5, donde se visualizan los resultados de los tests por cursos, podemos observar que el 69.23 % de los estudiantes de cuarto curso de la ESO han realizado

## 5.2. EXPERIENCIA 1: VIRTUAL TOUCH CÚBICA

---

correctamente el test o han tenido un error menor en la prueba final. El 100 % de los estudiantes de segundo curso de Bachillerato han resuelto correctamente el test o con un error mínimo. El 60 % de los estudiantes de ciclo formativo de grado medio han resuelto correctamente la prueba o han tenido un error menor en dicha prueba. Los resultados obtenidos son bastante buenos, aunque mejorables. Especialmente hay un grupo de ciclos formativos en el que los estudiantes tuvieron bastantes fallos, llegando al 80 % de tests con más de un fallo. El resto de grupos están en torno al 75 % de ninguno o un único fallo, por lo que en general los resultados son buenos.

Dentro del análisis se ha detectado que han habido pocas sesiones con respecto a la cantidad de actividades que se han realizado. Ésto ha podido influir en los resultados, ya que al alumnado le ha podido faltar tiempo suficiente para practicar y asimilar todos los conceptos estudiados. Por otro lado, hemos detectado que el empleo de mundos virtuales en algunos alumnos ha sido un factor de despiste más que de ayuda, ya que han dedicado bastante tiempo a personalizar su avatar y a visitar otras partes de la isla que no tienen relación con la experiencia realizada. Se deduce que pueden aparecer problemas asociados al hecho de que actualmente no contamos con un mecanismo de control de los avatares para observar y controlar que no acuden a zonas que no forman parte de la actividad o que no realizan acciones inapropiadas. Habría que implementar algún tipo de sanción o penalización en caso de no realizar las actividades correspondientes, estar en lugares inapropiados o realizar acciones inadecuadas (construir paredes invisibles, eliminar otras construcciones, etc.).

En la tabla 5.6 se muestra un resumen de los principales puntos a favor y en contra de la experiencia realizada. La motivación sería uno de los puntos más importantes a favor, aunque por contra podemos señalar que hay grupo de alumnos que se despistan fácilmente dentro de los mundos virtuales y por lo tanto pierden la concentración en la actividad indicada. Respecto a los tangibles, se ha demostrado que han sido útiles para entender mejor los conceptos abstractos estudiados. Por último observamos que, aunque al profesorado participante le ha encantado la experiencia, al mismo tiempo consideran que es muy trabajoso preparar las actividades adaptadas a los mundos virtuales y a las interfaces tangibles.

Puntos a favor	Puntos en contra
Mejora la motivación del estudiante	Puede causar distracciones
Baja curva de aprendizaje	Falta de formación del profesorado en mundos virtuales
Mejora el entendimiento de conceptos abstractos	Infraestructura deficiente en la mayoría de centros educativos (red, ordenadores, tarjetas gráficas, etc.)
Las interfaces tangibles representan una excelente analogía del concepto de array	Problemas para la conexión de muchos estudiantes al mismo tiempo
La interacción con los dados ayuda a no perderse en la siguiente iteración del algoritmo	Esfuerzo muy grande para preparar actividades en los mundos virtuales
Mejora otras habilidades como competencia digital, competencia comunicativa, trabajo en grupo...	Necesidad de un servidor para mundos virtuales muy potente
El sistema Cúbica ayuda a distinguir los algoritmos de ordenación	Problemas con la comunicación de los puertos en los centros educativos públicos
El dado tangible ayuda a resolver dudas mientras se realizan los ejercicios	
El sistema facilita la atención y la concentración del estudiante	
El estudiante recibe un feedback inmediato	
Mejora el ambiente de trabajo en el aula	
Excelente aceptación por la comunidad educativa	

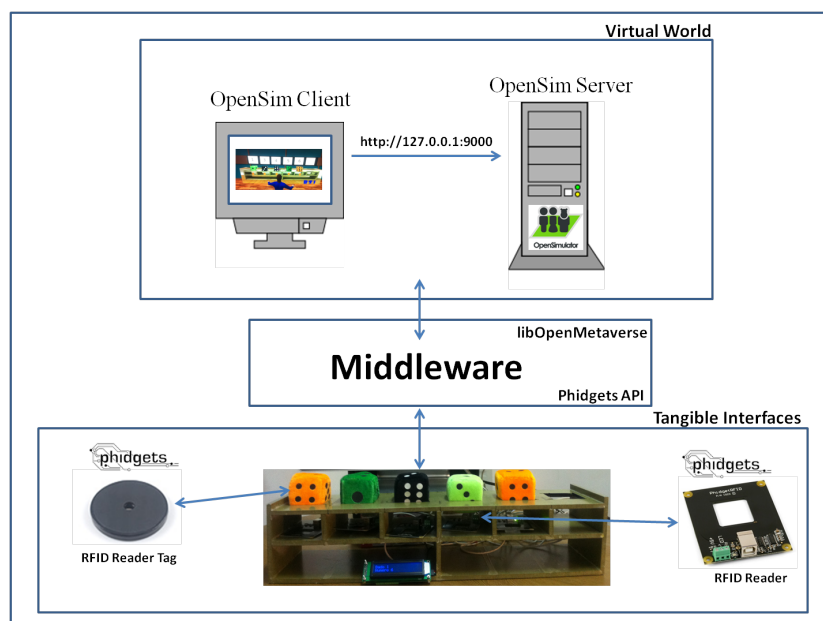
**Tabla 5.6.** Cúbica: Pros y contras.

#### 5.2.4.2. Resultados técnicos

En esta experiencia se desarrolló el primer prototipo de la arquitectura Virtual Touch, en el que se integró la tecnología Phidgets para enlazar el mundo real con el mundo virtual.

Como se puede observar en la figura 5.8, por un lado está el mundo virtual, formado por un servidor de mundos virtuales al que se accede por medio de un cliente de mundos virtuales (en este caso el visor es Singularity), y por otro lado está la infraestructura de las interfaces tangibles, implementada mediante sensores y actuadores de la tecnología Phidgets. En esta experiencia se emplearon tags y lectores RFID para identificar la posición de los cubos en el array.

## 5.2. EXPERIENCIA 1: VIRTUAL TOUCH CÚBICA



**Figura 5.8.** Arquitectura Cúbica.

A continuación, se describen los problemas técnicos encontrados durante la implementación de la experiencia.

En primer lugar está la problemática relativa a los ordenadores del centro educativo. Dichos ordenadores contaban con el sistema operativo LliureX (una distribución educativa de Ubuntu para la Comunidad Valenciana), y no es que sea directamente un problema utilizar dicho sistema operativo, pero conlleva más dificultades para instalar y configurar el servidor OpenSimulator, así como el visor de mundos virtuales. Por otro lado el parque de ordenadores de este centro público era relativamente obsoleto: los ordenadores contaban con muy poca memoria y disponían de tarjetas gráficas poco potentes, lo que provocó que en algunos equipos fuera imposible utilizar un visor de 3D para mundos virtuales, por no cumplir unos mínimos requerimientos gráficos.

Otro factor importante fue el ancho de banda, que resultó ser muy limitado, impidiendo que hubiera más de 12 estudiantes conectados simultáneamente. Un aspecto a tener en cuenta es que si el servidor de mundos virtuales está fuera del centro educativo, se deben abrir una serie de puertos TCP y UDP. Este problema hace que se tenga que pedir la apertura de puertos al servicio de asistencia informática de la Consellería de Educación y esto puede conllevar varios meses o incluso se puede recibir la negativa por parte de dicho servicio.

A nivel organizativo, en esta experiencia han participado algunos profesores de manera desinteresada y les ha encantado la experiencia, aunque ven serias dificultades para crear actividades educativas dentro del mundo virtual, debido a que no disponen

de conocimientos necesarios para configurar los mundos virtuales, crear objetos, scripts, importar modelos de otras herramientas de modelado 3D, etc.

El profesorado que ha participado corresponde al usuario básico dentro de los tres tipos de usuarios citados en la arquitectura de Virtual Touch. En este caso, el profesorado sería capaz de utilizar el kit desarrollado de una forma sencilla e incluso modificar alguna opción básica de configuración pero, como se ha comentado anteriormente, han observado que es complicado el crear nuevas actividades en el mundo virtual.

En resumen, se han encontrado dos tipos de problemas durante la implementación de este primer prototipo. Por una parte la problemática relativa a la infraestructura (ordenadores, ancho de banda, etc.) y por otra parte la problemática relativa a los conocimientos y a la formación del profesorado, que en general no han trabajado previamente con mundos virtuales, y les supone un gran esfuerzo tener que crear mundos virtuales y preparar actividades educativas dentro de dichos mundos virtuales.

Esta experiencia corresponde a la primera implementación e integración de la tecnología de Phidgets a la arquitectura Virtual Touch donde se han añadido los sensores Phidgets RFID y la pantalla LCD.

## 5.3. Experiencia 2: Virtual Touch Eye

El segundo prototipo funcional desarrollado es Virtual Touch Eye, que ha sido probado en el centro educativo IES Ernest Lluch (Cunit, Tarragona) y que han participado un total de 10 alumnos. En esta experiencia se han podido ver, por un lado, los resultados pedagógicos obtenidos utilizando el tangible con alumnos con necesidades educativas especiales, y por otro lado, los resultados a nivel técnico que han supuesto la incorporación de la tecnología Microsoft Kinect a la arquitectura Virtual Touch.

### 5.3.1. Objetivo educativo

El centro IES Ernest Lluch cuenta con un alto ratio de alumnos inmigrantes procedentes de otros países como Ucrania, Inglaterra, China, Marruecos y de otras regiones de España, que no hablan la lengua propia de Cataluña que es el catalán. El hecho de no hablar el catalán impide a los alumnos recién llegados de otros países o regiones el correcto seguimiento de las clases ordinarias y en algunos casos la correcta integración a una nueva cultura y, en algunos casos, a un nuevo país.

Con el objetivo de integrar al nuevo alumnado, el Sistema Educativo Catalán creó



### 5.3. EXPERIENCIA 2: VIRTUAL TOUCH EYE

---

las llamadas 'Aulas de Acogida', donde los alumnos reciben una formación específica durante varias horas al día para aprender el idioma catalán y también para aprender aspectos culturales del país y otras habilidades básicas y necesarias para el correcto seguimiento del curso y la integración con el resto de compañeros. Las 'Aulas de Acogida' están dirigidas a estudiantes de secundaria con edades comprendidas entre los 12 y los 16 años. A cada estudiante se le asigna un plan individualizado con las adaptaciones curriculares correspondientes.

Los estudiantes se pueden clasificar en tres tipos dependiendo del nivel de catalán y de integración socio-cultural:

- Estudiantes recién llegados a Cataluña y que no conocen el alfabeto latino (no hablan castellano ni catalán). Suelen ser inmigrantes del norte de África, aunque también algún alumno asiático.
- Estudiantes llegados de otras partes de España o de Latinoamérica, que no hablan catalán pero sí hablan castellano.
- Estudiantes inmigrantes que llevan un tiempo viviendo en Cataluña y hablan un poco de catalán, pero todavía no es suficiente para un correcto seguimiento de las clases y del curso lectivo.

El objetivo pedagógico principal en este caso de estudio era ayudar a los estudiantes a aprender la lengua catalana y facilitar su integración en el centro. Para ello, el sistema desarrollado se centra en la educación inclusiva, es decir, la educación centrada en integrar estudiantes con todo tipo de necesidades especiales: inmigrantes, estudiantes con problemas en el aprendizaje, estudiantes con riesgo de discriminación social, estudiantes con problemas cognitivos, etc.

Virtual Touch Eye	
<b>Fundamentos pedagógicos</b>	Se basa en el constructivismo propuesto por Piaget. El tangible es de tipo “ <i>ready-to-hand</i> ”, ya que se usa únicamente como medio de interacción al mundo virtual.
<b>Objetivos educativos</b>	Aprendizaje de la lengua catalana.
<b>Aportaciones Mundo virtual</b>	El mundo virtual dispone de actividades para el aprendizaje de las partes de la oración, los tiempos verbales y la identificación de los elementos de una oración: nombre, verbo, adjetivo, etc.
<b>Aportaciones interfaces tangibles</b>	Las interfaces tangibles facilitan la interacción con el mundo virtual.

**Tabla 5.7.** Objetivos Educativos Virtual Touch Eye.

Los tangibles utilizados en esta experiencia se consideran “*ready-to-hand*” debido a que todas las acciones ocurren en el mundo virtual y el tangible únicamente es el medio de interacción.

### 5.3.2. Objetivo técnico

El principal objetivo técnico de esta experiencia fue la integración de la tecnología Microsoft Kinect dentro de la arquitectura de Virtual Touch, así como seguir desarrollando el middleware que es la parte fundamental de dicha arquitectura.

En la tabla 5.8 se visualizan todos los componentes del prototipo funcional denominado Virtual Touch Eye.

Virtual Touch Eye	
Microsoft Kinect	Se ha utilizado para el reconocimiento de gestos, de voz y de las figuras geométricas.
Figuras geométricas de madera	Se han utilizado como interfaces tangibles diferentes figuras geométricas de madera.
Middleware	Permite la configuración del servidor de mundos virtuales y gestiona la comunicación de los mundos virtuales con las interfaces tangibles.
Mundo virtual	Se ha creado un isla virtual para el aprendizaje del catalán, donde se pueden realizar ejercicios prácticos sobre las partes de la oración, el reconocimiento de los elementos de la oración, los tiempos verbales etc.
Tipo de usuario educador	En esta experiencia ha participado un usuario con nivel de conocimientos informáticos intermedio. El educador ha sabido crear y modificar recursos en el mundo virtual, así como utilizar el middleware para configurar aspectos básicos del mismo.

**Tabla 5.8.** Componentes Virtual Touch Eye.

La tecnología Microsoft Kinect para Windows proporciona diferentes sensores que permiten la creación de aplicaciones utilizando las Interfaces Naturales de Usuario (NUI). De esta forma, al integrar Microsoft Kinect a la arquitectura se incorpora la posibilidad de interactuar con los mundos virtuales mediante los gestos y la voz.

### 5.3. EXPERIENCIA 2: VIRTUAL TOUCH EYE

---

Para realizar esta integración se empleó el kit de desarrollo de Microsoft Kinect (Software Development Kit). Una primera prueba consistió en manejar el avatar mediante movimientos y gestos en el mundo real. Con tal fin Microsoft Kinect posee diferentes sensores: un emisor de infrarrojos, una cámara de color RGB (Red Green Blue), un sensor de infrarrojo de profundidad y un conjunto de micrófonos.



**Figura 5.9.** Microsoft Kinect para Windows.

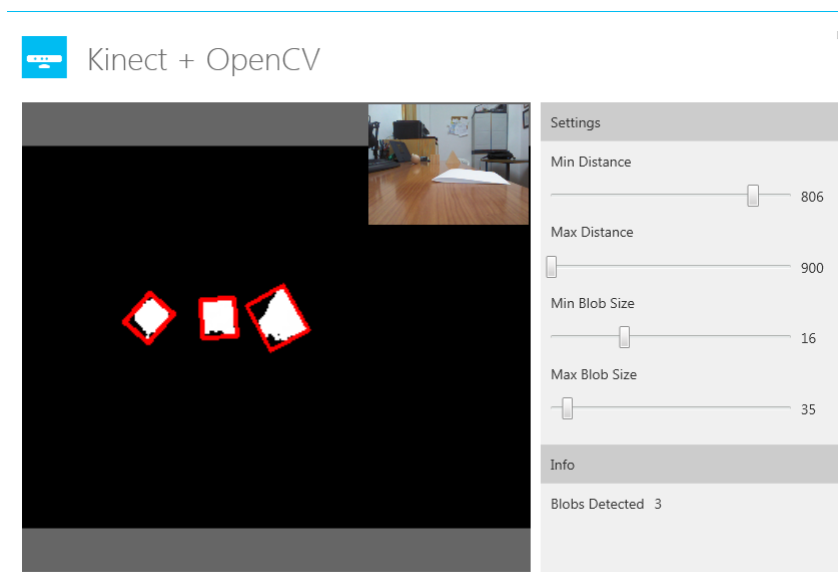
En la imagen 5.10 se pueden observar las figuras geométricas utilizadas como interfaces tangibles en el transcurso de las diferentes actividades educativas. El dispositivo Microsoft Kinect debe reconocer la figura geométrica que se muestra y en qué posición se encuentra, por ejemplo, si el triángulo está a la izquierda del cubo o viceversa.



**Figura 5.10.** Interfaces tangibles usadas con el dispositivo Kinect.

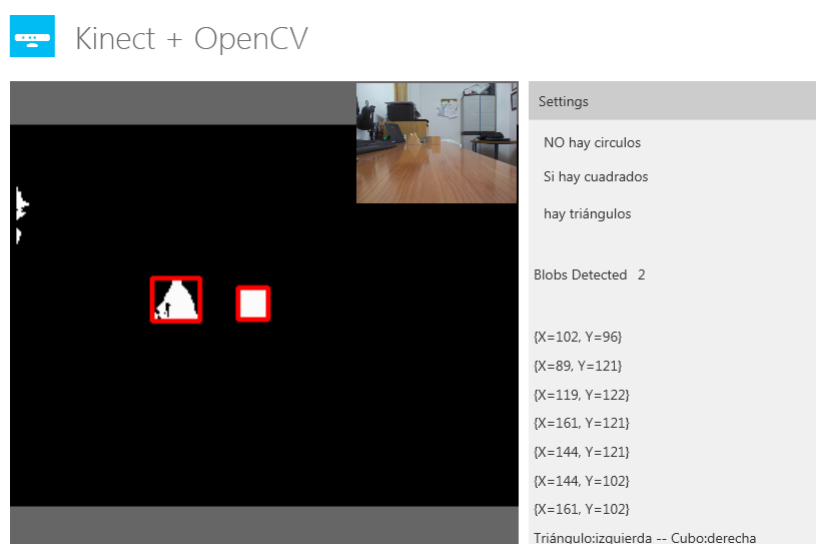
Para ello se utilizó OpenCV, que es una librería de visión artificial de código abierto y que incorpora varias funciones y algoritmos para el reconocimiento de objetos o figuras geométricas. Para el desarrollo del middleware se utilizó el lenguaje de programación C#, por lo que se decidió usar la plataforma EmguCV, que es una envoltura de OpenCV para las plataformas .NET, que se integra fácilmente con el código en el lenguaje C#.

En la imagen 5.11 se puede observar un ejemplo de reconocimiento de figuras usando Microsoft Kinect y OpenCV en el que se reconoce un cuadrado y un triángulo.



**Figura 5.11.** Reconocimiento de figuras con Microsoft Kinect y OpenCV.

Por otro lado, como se puede visualizar en la figura 5.12, también se probó si el sistema era capaz de saber la posición de cada figura, es decir, si por ejemplo el triángulo se encontraba a la derecha o a la izquierda del cubo. De esta forma, teniendo el reconocimiento de las figuras y sus posiciones, ya se pudieron plantear diferentes actividades.



**Figura 5.12.** Captura de posiciones de las figuras geométricas.

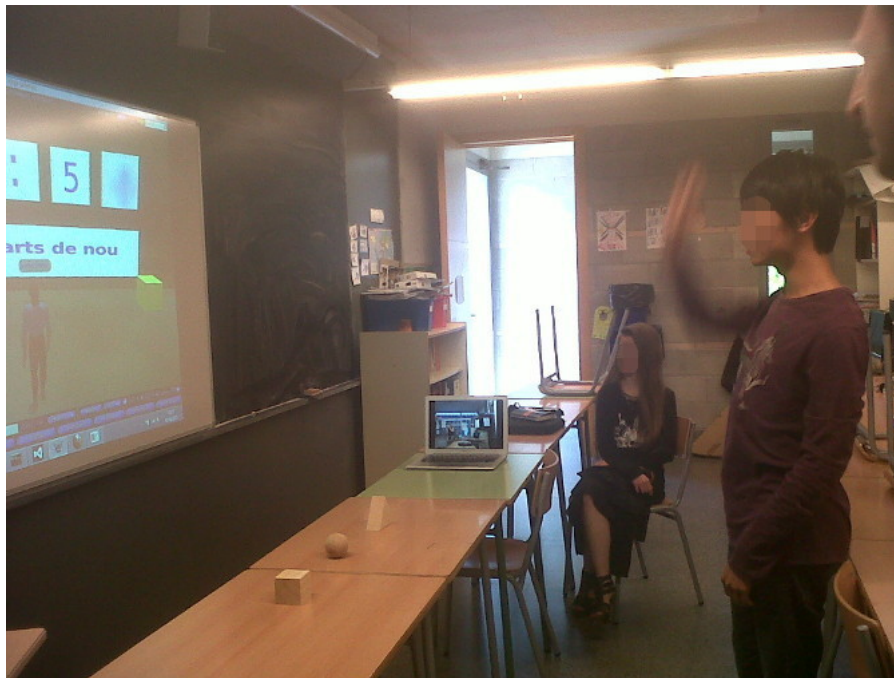
#### 5.3.3. Desarrollo de la experiencia

En esta experiencia ha participado una profesora de Historia del instituto de Educación Secundaria IES Ernest Lluch (Cunit, Tarragona), que tutoriza a los alumnos de las 'Aulas de Acogida'. Cabe destacar con respecto a los usuarios contemplados dentro de la arquitectura de Virtual Touch, que esta profesora correspondería a un usuario de nivel intermedio debido a que, a pesar de no ser profesora de Informática, ha estado muchos años dirigiendo y participando en los proyectos de Espurna y Espurnik [45] y por lo tanto conoce bien los mundos virtuales, así como la creación y modificación de scripts básicos.

Se crearon diferentes actividades educativas dirigidas a los alumnos con necesidades educativas especiales que apenas conocen el idioma catalán. En el mundo virtual se prepararon una serie de actividades de enseñanza/aprendizaje y además se crearon algunas actividades específicas que se realizaron usando el dispositivo Microsoft Kinect junto con las interfaces tangibles en forma de figuras geométricas.

Las actividades llevadas a cabo en esta experiencia se clasifican en dos tipos de actividades: actividades NUI (Natural User Interface) y actividades TUI (Tangible User Interface). En las actividades de tipo NUI hay una interacción sin ningún tipo de dispositivo, joystick, ratón, etc., por lo que la interacción se realiza mediante gestos y voz. Los alumnos pueden interactuar con objetos presentes en el mundo virtual mediante una serie de movimientos o gestos: por ejemplo los estudiantes pueden cambiar el color de un objeto únicamente levantando la mano. Otro ejemplo de interacción mediante gestos es una actividad en la que los alumnos tenían que cambiar los dígitos de un reloj presente en el mundo virtual atendiendo a las instrucciones dadas en catalán. Cuando el estudiante finalizaba la actividad, recibía un feedback en el mundo virtual para indicarle si la actividad se resolvió correctamente.

En la imagen 5.13 podemos observar cómo un estudiante debe de colocar una determinada hora que se le ha indicado en catalán y para ello el estudiante mediante gestos va cambiando los dígitos hasta dejar los dígitos correspondientes a las horas y los minutos correctamente.



**Figura 5.13.** Alumno interactuando mediante gestos usando Microsoft Kinect.

Por otro lado, las actividades TUI (Tangible User Interface) son las que se han utilizado más a menudo, tanto en esta experiencia como en el resto de experiencias presentadas en esta tesis.

En la figura 5.14 se puede observar un conjunto de tangibles empleados en esta experiencia, que son figuras de madera que representan figuras geométricas. También puede verse su representación virtual. La gran ventaja que presenta este sistema, respecto a la tecnología Phidgets empleada en la anterior experiencia, es la ausencia de cables y conexiones adicionales, lo que facilita su uso en el aula. Por el contrario, como se comentará más adelante, puede haber problemas relacionados con el reconocimiento de las figuras geométricas, según la distancia a la que esté situada la cámara y las condiciones de luminosidad en la escena.



**Figura 5.14.** Mundo virtual e interfaces tangibles.

Las actividades que hacen uso de las interfaces tangibles de usuario (TUI) permiten una interacción más directa, intuitiva y natural con el mundo virtual y facilitan la asociación de un elemento tangible a un determinado concepto. En esta experiencia se han utilizado las interfaces tangibles con el objetivo de aprender conceptos gramaticales de la lengua catalana. Para ello, en cada actividad las figuras geométricas representaban una categoría gramatical que el estudiante debía de asociar desde el comienzo de la actividad.

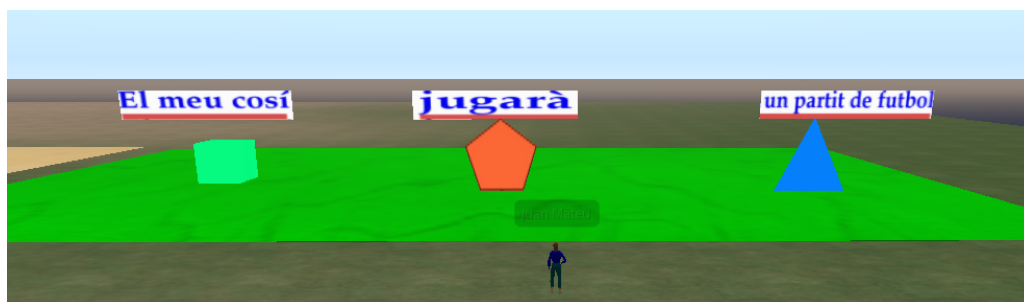
Por ejemplo, un cubo (figura de madera en forma de cubo) representaba el concepto de nombre, una pirámide representaba el concepto de verbo y una esfera representaba el concepto de adjetivo. Una de las actividades consistía en deducir la categoría gramatical de la palabra que faltaba dentro de diferentes frases que iban apareciendo en el mundo virtual (ver figura 5.15).



**Figura 5.15.** Actividad en el mundo virtual.

Otra actividad consistió en deducir el tiempo verbal correspondiente a una determinada frase. Para ello, el cubo tangible representaba el tiempo verbal de presente, la pirámide representaba el tiempo verbal de pasado y el pentágono representaba el tiempo verbal de futuro. En el mundo virtual se mostraba una frase y se tenía que mostrar la figura correspondiente al tiempo verbal de la frase.

Otra actividad consistió en ordenar frases que estaban fragmentadas en tres partes. Se tenía que identificar el sujeto, el predicado y el verbo (ver figura 5.16) y ponerlos en el orden adecuado. El estudiante usaba los tangibles para indicar la categoría de cada parte de la oración, ordenando así los componentes de la frase.



**Figura 5.16.** Ejemplo de actividad con Kinect y OpenSim.

Para terminar, se realizó otra actividad en la cual se debía asociar una palabra en catalán a una forma geométrica concreta, por ejemplo, si aparecía la palabra 'sol'



### 5.3. EXPERIENCIA 2: VIRTUAL TOUCH EYE

---

el alumno debía de mostrar la figura tangible de la esfera, debido a la forma circular que tiene el sol. De esta forma, el estudiante practicaba vocabulario, observándose si realmente entendía el significado de dicha palabra y era capaz de asociarle su forma geométrica correspondiente.

En la imagen 5.17 se puede observar un alumno interactuando con las figuras geométricas tangibles. Según la actividad propuesta dentro del mundo virtual, el alumno tenía como objetivo organizar las figuras en el orden adecuado.



**Figura 5.17.** Alumno interactuando con los tangibles.

Al acabar la experiencia se realizó una entrevista semi-estructurada con la profesora de las 'Aulas de Acogida' para obtener una valoración de la utilidad percibida por ella del empleo de los mundos virtuales con las interfaces tangibles.

#### 5.3.4. Análisis de resultados

Tras la realización de la experiencia, se analizaron los resultados obtenidos para determinar si la interfaz tangible realmente tiene beneficios en el aprendizaje de los estudiantes, así como para analizar las problemáticas a nivel técnico que se hubieran encontrado.

#### 5.3.4.1. Resultados educativos

En cuanto a la motivación, los estudiantes han mostrado un aumento del interés en el momento de participar y llevar a cabo las actividades propuestas, gracias al empleo de los mundos virtuales y las interfaces tangibles. En la experiencia se ha observado que los estudiantes se han sentido cómodos y han realizado las actividades como si de un juego se tratase, por lo que les parece más entretenido el aprendizaje utilizando el sistema Virtual Touch. La gamificación es una estrategia de aprendizaje que permite aprender de una forma más lúdica, desarrollando un mayor compromiso e incentivando el espíritu de superación de los estudiantes. También se evaluó el factor de la mejora personal, donde se observó que los alumnos intentaban desempeñar las actividades lo mejor posible intentando sobresalir y mejorar sus propios resultados. Este tipo de experiencias resultan un reto para el estudiante: se tiene que adaptar el nivel de las actividades para evitar la frustración del estudiante.

En cuanto a la accesibilidad y la usabilidad del sistema Virtual Touch, tanto a los alumnos como a la profesora les ha parecido fácil de utilizar: en pocos minutos ya interactuaban con los mundos virtuales mediante las figuras geométricas tangibles y la realización de gestos.

La efectividad es el siguiente factor que se evaluó en base al nivel de cada estudiante y el tipo de actividad realizada. Se observó que los elementos tangibles ayudaron a mejorar la comprensión de las diferentes partes de la oración especialmente a los alumnos que no tenían familiaridad con el alfabeto latino, lo que les conllevaba más problemas en la enseñanza con métodos tradicionales. En la experiencia realizada destaca el caso de una estudiante procedente de Marruecos que apenas entendía las estructuras de la oración y con las instrucciones de la profesora empezó a practicar con los tangibles. Poco a poco iba entendiendo mejor las diferentes partes de la oración, al mismo tiempo que se reducía la tasa de error en las actividades. En general, se observó que usando las interfaces tangibles, y con la metodología de 'prueba y error', los alumnos mejoraban y aprendían de una forma más efectiva.

El factor de progresión también se ha tenido en cuenta en la evaluación. Cabe comentar que los estudiantes realizaban actividades con diferentes niveles de dificultad en base a su conocimiento previo del idioma. Habían tres tipos de niveles: básico, intermedio y avanzado. La profesora ajustaba el nivel adecuado para evitar que el alumno se aburriera en caso de ser demasiada sencilla la actividad o por contra que se frustrara por tener un nivel demasiado elevado en base a sus conocimientos previos.

Otro factor evaluado fue la metodología que, como se ha comentado previamente, se ha basado en el sistema de 'prueba y error', en base a una metodología constructivista y con una participación activa del alumno, siendo ellos mismos los protagonistas de su aprendizaje. En este caso, la profesora únicamente daba alguna instrucción y efectuaba

alguna corrección, pero todas las actividades las realizaban los alumnos por su cuenta.

El sistema Virtual Touch permitió realizar diferentes tipos de evaluación, tales como evaluación inicial, autoevaluación, co-evaluación, evaluación formativa y evaluación final. La autoevaluación fué la más utilizada por los estudiantes, debido a que el alumnado obtenía una retroalimentación en cada actividad realizada, y así los alumnos podían ir aprendiendo en base a sus resultados.

También se encontraron algunos inconvenientes y dificultades en la experiencia. Cabe destacar que se detectó que hubiera sido necesario haber preparado más ejemplos de cada actividad, ya que se corría el peligro de que empleara por parte del alumno una estrategia de memorización de casos, más que de aprendizaje de los conceptos mostrados. La preparación de actividades en el mundo virtual y con interacción con interfaces tangibles supone un gran esfuerzo. Siendo una primera experiencia del docente responsable, se preparó una selección limitada de actividades, que en el futuro se espera ampliar. También podría ser interesante crear un banco de recursos y actividades para facilitar la tarea al profesor/a, ya que resulta bastante trabajoso crear desde cero material específico para sistemas de realidad mixta. No obstante, se comprobó que el sistema Virtual Touch facilita este proceso. También se observó cierta distracción en algunos alumnos y finalmente se observó que los alumnos más tímidos e introvertidos no estuvieron demasiado cómodos realizando las actividades mediante los gestos y movimientos.

En esta experiencia también aparecieron las problemáticas habituales de los centros educativos, especialmente en temas de conectividad y ancho de banda. Respecto a la formación del profesorado, en este caso de estudio la profesora participante tenía experiencia y formación previa en mundos virtuales, siendo capaz de generar construcciones, objetos y diferentes actividades de forma autónoma, sin ningún tipo de ayuda. Además disponía de un banco de recursos útiles, tales como construcciones ya creadas, scripts preparados para dotar de comportamiento a los objetos y actividades educativas ya realizadas previamente que se podían reutilizar. La profesora había participado previamente en el proyecto Espurna (en el que hay una gran cantidad de docentes implicados) y en el proyecto V-LEAF (plataforma OpenSim cedida por la Universidad Autónoma de Madrid), lo que ha conllevado una serie de ventajas respecto a su conocimiento de los mundos virtuales y al grado de implicación en dichas actividades y proyectos.

#### 5.3.4.2. Resultados técnicos

En esta experiencia se ha integrado la tecnología Microsoft Kinect, junto con las librerías de visión artificial, al middleware Virtual Touch.

A nivel técnico, el principal problema ha sido a la hora de crear las actividades

usando el reconocimiento de formas con la tecnología Microsoft Kinect. Con respecto a la programación de dicha parte, se hizo uso de la librería EmguCV que es un envoltorio (wrapper) .NET (escrita en C#) que permite hacer uso de la librería OpenCV para la detección y reconocimiento de objetos.

El hecho de programar con este tipo de librerías, donde algunas de las funciones son de bastante complejidad, hace difícil la integración dentro de la arquitectura, que tiene que mantenerse simple y transparente para que su empleo dentro del mundo virtual no necesite de conocimientos avanzados informáticos. Respecto a la visión artificial también se ha de tener en cuenta la luz que hay presente, que no haya reflejos en la mesa y que los objetos tangibles estén a cierta distancia del dispositivo Microsoft Kinect. Estas problemáticas se han resuelto parcialmente, pero en las experiencias se han encontrado algunas dificultades de reconocimiento de algunas formas debido a los factores citados anteriormente (posición del objeto, luz y necesidad de mejorar algunos aspectos de la programación y del algoritmo para el reconocimiento de las figuras).

El dispositivo Microsoft Kinect se ha integrado adecuadamente a la arquitectura Virtual Touch, que de esta forma permite la realización de actividades basadas en gestos y en el reconocimiento de formas básicas. Posteriormente, se han planteado posibles mejoras para evitar los problemas citados anteriormente. Una opción probada es la utilización de fiduciales junto con el framework de visión por ordenador denominado reacTIVision [142] que, aunque está desarrollado para mesas y superficies interactivas, se puede utilizar para el reconocimiento y rastreo de objetos usando únicamente una webcam y los fiduciales.

En esta experiencia la profesora participante correspondía al usuario de nivel intermedio dentro de la arquitectura Virtual Touch. La profesora participante tenía suficientes conocimientos y experiencia en cuanto a la creación de recursos en los mundos virtuales, y por lo tanto supuso un menor esfuerzo preparar actividades educativas dentro del mundo virtual. En cuanto a la interfaz tangible y su configuración, temas acerca de los que no disponía conocimientos previos, no tuvo mayor problema en su interacción con las actividades que creó, llegando incluso a realizar alguna pequeña modificación en la programación de los scripts.

## 5.4. Experiencia 3: Virtual Touch Book

El tercer prototipo funcional desarrollado es Virtual Touch Book, que ha sido probado en el centro educativo IES Ernest Lluch (Cunit, Tarragona). En esta experiencia han participado alumnos con necesidades educativas especiales, que necesitan una atención individualizada, y que además de aprender los contenidos curriculares, deben mejorar el aprendizaje del idioma. Por otro lado, a nivel técnico esta experiencia ha supuesto

la integración de la tecnología Arduino a la arquitectura Virtual Touch.

##### 5.4.1. Objetivo educativo

Virtual Touch Book es un libro de realidad mixta que se ha utilizado en un contexto de educación inclusiva en el que los estudiantes tienen dificultades en el aprendizaje. En esta experiencia se usó Virtual Touch Book como libro “tangible” en el que se enlazan los contenidos que aparecen en el propio libro físico con un mundo virtual tridimensional. Los estudiantes pueden poner en práctica los conocimientos adquiridos con las diferentes actividades propuestas dentro de los mundos virtuales.

Esta experiencia se ha realizado en el instituto IES Ernest Lluch (Cunit, Tarragona). Han participado un total de 20 alumnos pertenecientes a:

- **Aula de acogida.** El Aula de Acogida corresponde a estudiantes recién llegados a Cataluña y que desconocen la lengua vehicular de la enseñanza, que es el catalán. Este alumnado no asiste a todas las clases ordinarias, y para ello disponen de clases en el Aula de Acogida que ayudan a reforzar el aprendizaje de la lengua.
- **Atención a la diversidad.** Son alumnos que tienen dificultades en el aprendizaje y/o están en riesgo de exclusión social.
- **Aulas Abiertas.** Las aulas abiertas son programas de diversificación curricular, que atienden a alumnos con dificultades significativas en el aprendizaje, bajo nivel de autoestima y/o desmotivación por la actividad escolar. Para estos alumnos se requiere hacer uso de una metodología más funcional y con actividades más prácticas, que ayuden a mejorar la motivación del estudiante. El objetivo de estos estudiantes es alcanzar las competencias básicas y obtener el graduado en Educación Secundaria Obligatoria (ESO).

Los alumnos participantes en la experiencia son de diferentes niveles dentro de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO). Además cuentan con un plan individualizado en su currículo y destaca la importancia de trabajar con ellos la cohesión social. Los alumnos de Aula de Acogida abarcan todos los cursos de la ESO, mientras que los alumnos de Aula Abierta que participaron en la experiencia cursaban el segundo curso de la ESO adaptado.

En esta experiencia se ha trabajado el apartado de “Religión y mitología griega” de la Unidad Didáctica “La Grecia Clásica” dentro de la materia de Ciencias Sociales. El objetivo didáctico consistía en el aprendizaje de la mitología griega, aunque en segunda instancia se trabajaron las competencias necesarias para el aprendizaje de la lengua

catalana. En esta experiencia se ha realizado un aprendizaje situado (situated learning) donde se representa un lugar y un contexto histórico, en este caso la Grecia clásica.

El tangible utilizado en esta experiencia es de tipo “*present-to-hand*” debido a que la actividad enfoca su uso en el propio tangible.

Virtual Touch Book	
Fundamentos pedagógicos	Aprendizaje situado. Gamificación. El tangible es de tipo “ <i>present-to-hand</i> ” debido a que el libro forma parte de la actividad educativa a realizar.
Objetivos educativos	Aprendizaje de la Grecia clásica. Aprendizaje y refuerzo del idioma.
Aportaciones Mundo virtual	El mundo virtual dispone de una representación de la Grecia clásica con modelos tridimensionales de las principales construcciones de la época.
Aportaciones interfaces tangibles	El libro tangible permite relacionar los conceptos teóricos que aparecen en el libro con las actividades a desarrollar en el mundo virtual.

**Tabla 5.9.** Objetivos Educativos Virtual Touch Book.

### 5.4.2. Objetivo técnico

El objetivo técnico de esta experiencia fue la creación de un primer prototipo de libro tangible que permitiera enlazar los contenidos del mundo real (textos e imágenes del libro físico) con el mundo virtual (representaciones y recreaciones tridimensionales de la Antigua Grecia).

Para la creación del libro tangible se utilizó la tecnología Arduino. Arduino es una tecnología de código abierto, que resulta económica y tiene un uso creciente en el sector educativo. Actualmente, Arduino se utiliza en multitud de proyectos educativos de Robótica y en asignaturas como Tecnología o Informática.

Para crear el libro se usó una base de madera como soporte para las páginas, junto con unas páginas de cartón. En cada página de cartón se añadieron sensores, conectados mediante cables de conexión a la placa Arduino. De esta manera, se puede reconocer por qué página está abierto el libro en un momento determinado. De hecho, el principal problema fue encontrar la forma más adecuada de identificar cuál es la página que se

#### 5.4. EXPERIENCIA 3: VIRTUAL TOUCH BOOK

---

encuentra abierta en un momento dado. La primera solución probada se basaba en conexiones eléctricas: las páginas abiertas son las únicas en las que no está cerrada la conexión eléctrica. Una parte de la conexión se realiza a un pin de la placa Arduino con una tensión de 5 voltios y otra conexión se realiza al pin GND o toma tierra (ground con 0 voltios). De esta forma, conseguimos dos posibles estados (0 y 1) en cada par de páginas, según si están haciendo contacto o no (como si de un pulsador se tratara). Con el objetivo de aumentar y mejorar la superficie de contacto, se añadieron unas tiras de papel de aluminio en la parte inferior de cada página. El prototipo funcionó bastante bien, aunque en determinadas ocasiones no hacía el contacto correctamente debido al poco peso de las láminas de cartón.

Una vez abierta la página, se envía un mensaje al mundo virtual para indicar en qué página se encuentra y cuál es el contenido que debe mostrar en el mundo virtual. Además, el sistema cuenta con una serie de botones creados mediante sensores de fuerza resistivos (FSR). De esta forma, se puede escoger una opción en concreto pulsando uno de los botones que se añadieron al libro tangible y cuya acción está reflejada en el mundo virtual.

En la imagen 5.18 se puede observar el primer prototipo donde se usó papel de aluminio en la parte inferior de cada página. Así se aumentó la superficie de contacto entre ambas hojas y se facilitó la identificación de la página que se encontraba abierta.



**Figura 5.18.** Primer prototipo Virtual Touch Book.

<b>Virtual Touch Book</b>	
<b>Arduino</b>	Se ha utilizado para conectar todas las páginas y reconocer la que se encuentra abierta.
<b>Libro tangible de madera</b>	Se ha utilizado un libro tangible con un soporte de madera y con las hojas de cartón.
<b>Middleware</b>	Permite la configuración del servidor de mundos virtuales y gestiona la comunicación de los mundos virtuales con las interfaces tangibles.
<b>Mundo virtual</b>	Se ha creado una representación de la Antigua Grecia en la que los estudiantes deben emplear las características de cada Dios estudiadas en el libro para investigar dónde se encuentra en el mundo virtual. El mundo virtual ofrece un entorno situado y “gamificado”, ya que el alumnado deberá superar pruebas y obtendrá recompensas. El mundo virtual cuenta con bots conversacionales que interactúan con los estudiantes.
<b>Tipo de usuario educador</b>	En esta experiencia ha participado una educadora con nivel de conocimientos informáticos intermedio. La educadora ha sabido crear y modificar recursos en el mundo virtual, así como utilizar el middleware para configurar aspectos básicos del mismo.

**Tabla 5.10.** Componentes Virtual Touch Book.

### 5.4.3. Desarrollo de la experiencia

En esta experiencia han participado 20 alumnos que forman parte del Aula de Acogida y del Aula Abierta. Los alumnos participantes en la experiencia disponían de planes individualizados, presentando problemas en el aprendizaje y en la cohesión social.

La experiencia se ha centrado en el aprendizaje del apartado de ‘Religión y mitología griega’, dentro de la unidad didáctica ‘La Grecia Clásica’ de la asignatura de Ciencias Sociales.

Los estudiantes se dividieron en dos grupos para la realización de la experiencia: un grupo de control y un grupo experimental. El grupo de control recibió las explicaciones

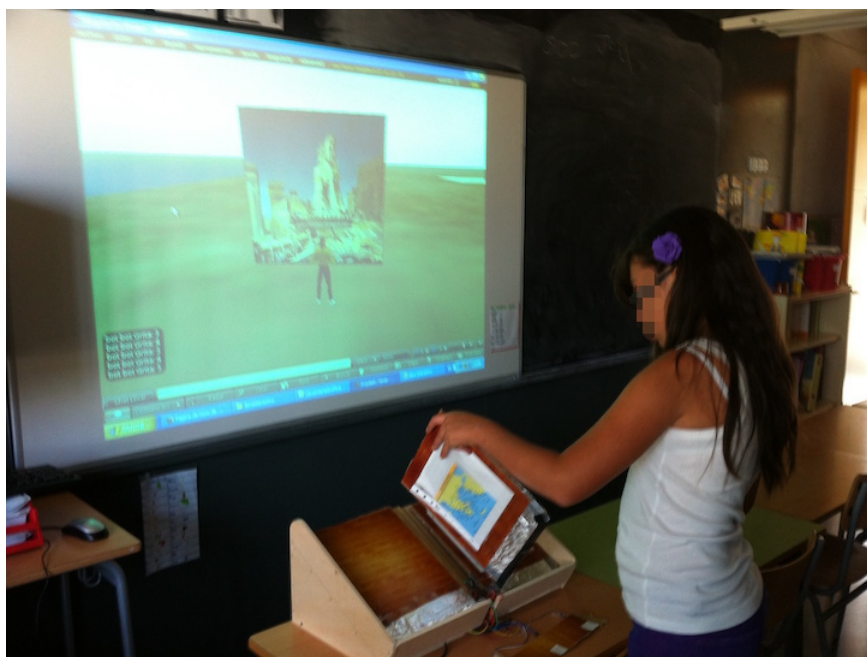


de forma tradicional por parte de la profesora, es decir, se mostraron los contenidos teóricos a través de textos en formato papel y páginas web. Después se evaluaron los conocimientos adquiridos mediante la resolución de actividades en la libreta y su posterior corrección por parte de la profesora.

El grupo experimental utilizó el prototipo de libro tangible para aprender los conceptos teóricos y el mundo virtual para la realización de actividades prácticas. Cada página del libro mostraba una información específica sobre un dios griego. El alumno, tras leer la información, tenía que realizar una serie de actividades en el mundo virtual. Entre otras cosas, el estudiante tenía que buscar a los dioses griegos dentro de la simulación tridimensional de Grecia, empleando para ello las características aprendidas en el libro (por ejemplo, a Poseidón había que buscarlo donde hubiera mar y a Afrodita en un jardín).

El libro tangible mostraba información de la cultura griega, los aspectos religiosos y los dioses de la mitología griega. El libro tangible constaba de 6 páginas, donde cada una de las cuales hacía referencia a un Dios griego en concreto. Los estudiantes primero leyeron y siguieron las instrucciones del libro tangible, para posteriormente realizar las actividades correspondientes a dicha página dentro del mundo virtual. Dentro del mundo virtual se utilizaron diferentes modelos tridimensionales para representar de forma realista la Grecia Clásica. El estudiante, empleando la información del libro tangible, debía averiguar la localización del dios griego correspondiente y para ello debía explorar toda la ciudad virtual que representaba la Antigua Grecia. Una vez encontrado el dios que indicaba el libro tangible, gracias a las pistas suministradas, el alumno tenía que responder a una serie de preguntas sobre el tema. Si se superaba este test, el alumno recibía una letra de la contraseña que, una vez completada, le permitía acceder al área del Olimpo, objetivo final de la actividad. De esta forma, el mundo virtual permitió la aplicación de la gamificación como estrategia de aprendizaje.

En las imágenes 5.19 y 5.20 se observa a diferentes estudiantes interactuando con el libro tangible. Los estudiantes, después de leer las instrucciones, realizan una serie de actividades dentro del mundo virtual.



**Figura 5.19.** Alumna interactuando con Virtual Touch Book.



**Figura 5.20.** Alumno interactuando con Virtual Touch Book.

En la imagen 5.21 se observa una representación en tres dimensiones de la Antigua Grecia en la que se recrean todos los elementos y estilos arquitectónicos de la época. Los estudiantes pueden observar los templos desde diferentes perspectivas, los teatros,

#### 5.4. EXPERIENCIA 3: VIRTUAL TOUCH BOOK

---

las ágoras y los estilos arquitectónicos jónico, dórico y corintio. Los mundos virtuales son un entorno que permite una inmersión muy auténtica y realista en la Antigua Grecia, logrando obtener un aprendizaje significativo. Además, los estudiantes, mediante sus avatares, pueden interactuar entre sí y con otros avatares para obtener pistas e información sobre la cultura griega.



**Figura 5.21.** Simulación Antigua Grecia en el mundo virtual.

Dentro del mundo virtual el alumno debe realizar un test de evaluación y de esta forma puede obtener la puntuación necesaria para ir a la región final. Desde el mundo virtual se recuperan las preguntas y respuestas de la base de datos MySQL, empleando el middleware. De igual manera se almacena la respuesta elegida por el usuario, permitiendo llevar el control de cada usuario desde la base de datos. Según se ha comentado previamente, cada test superado correctamente permite al estudiante recibir una letra de una palabra secreta. En caso de completar la palabra, el alumno accederá al monte Olimpo, objetivo final de la actividad. En definitiva, esta actividad se basa en la gamificación donde el alumno investiga, realiza pruebas y recibe premios como recompensa hasta llegar a la zona del Dios Olimpo. El aprendizaje que obtiene el estudiante que realiza esta experiencia es significativo, ya que retiene mejor todo lo que visualiza en la recreación tridimensional de la Antigua Grecia, y además es un aprendizaje situado, debido a la simulación del contexto histórico que se ha representado.

En la imagen 5.22 se observa un avatar realizando el cuestionario tipo test, en el que tiene una pregunta y debe elegir una de las tres respuestas que aparecen en los cubos. La respuesta que elige el estudiante se suma o se resta y el resultado final se almacena en la base de datos con el nombre del avatar que ha realizado la actividad y el resultado obtenido.



**Figura 5.22.** Cuestionario de evaluación en el mundo virtual.

#### 5.4.4. Análisis de resultados

Una vez creado y evaluado el prototipo funcional Virtual Touch Book, en este apartado se realiza un análisis de los resultados obtenidos a nivel pedagógico y a nivel técnico.

##### 5.4.4.1. Resultados educativos

La valoración de los alumnos del grupo experimental (que han usado el libro tangible y los mundos virtuales) ha sido muy positiva. Se comprobó que los alumnos del grupo experimental han estado mucho más motivados que los alumnos del grupo de control. El principal motivo es la novedad del recurso (libro tangible) y la interacción con los mundos virtuales que se asemeja a los videojuegos. A pesar de que la mayoría de estudiantes no habían interactuado en un mundo virtual como OpenSim, les ha parecido sencillo manejar el avatar, moverse por la Grecia virtual y realizar diferentes tipos de acciones (utilización del chat, creación de objetos, volar con el avatar, etc.)

Los estudiantes del grupo experimental han entendido rápidamente las instrucciones y han contestado a las preguntas propuestas sin apenas dificultades. A cada respuesta correcta se les incrementa un punto y a cada respuesta incorrecta se les resta un punto, hasta alcanzar los 5 puntos necesarios para cada ejercicio.

Tras finalizar todo el proceso, se consiguió que todos los estudiantes aprendieran el contenido de la Unidad didáctica. Se valoraron tanto los contenidos como los procedimientos mediante evaluación objetiva y autoevaluación.

Los resultados obtenidos en la experiencia fueron significativamente mejores en el grupo experimental, ya que obtuvieron un 80 % de respuestas correctas frente al 60 % en el grupo de control (tradicional).

La interacción de los estudiantes con los otros avatares presentes en el mundo virtual ha permitido trabajar las habilidades comunicativas de los estudiantes, ya que la mayoría de los estudiantes presentaban problemas en el aprendizaje del idioma.

La experiencia ha resultado muy positiva y gratificante debido a que el estudiante se encuentra en un entorno novedoso y en el que está aprendiendo mientras está jugando (aprendizaje situado y gamificado). El estudiante obtiene recompensas dentro del mundo virtual cada vez que acierta cualquier pregunta y por lo tanto se encuentra en un entorno totalmente “gamificado” que resulta idóneo para estudiantes con necesidades educativas especiales y que adolecen de falta de motivación.

##### 5.4.4.2. Resultados técnicos

La principal problemática encontrada en esta experiencia ha sido el gran esfuerzo que ha supuesto la creación y la simulación de la Antigua Grecia. Para ello, se han tenido que recrear todas las construcciones de la época e incluso reproducir algunas vestimentas habituales de la Antigua Grecia. Para ello, se ha utilizado la herramienta SketchUp para poder descargar modelos 3D y poder importarlos al mundo virtual, ya que sería muy difícil de recrear desde cero cualquier construcción de la arquitectura griega. Para que el alumno contara con una experiencia significativa y se sumergiera en la Antigua Grecia, había que hacer una recreación lo más parecida a la real y eso conllevó mucho esfuerzo buscando modelos disponibles para uso público. Por otro lado, se tuvieron que programar bots conversacionales (avatares autoprogramados) con el objetivo de mejorar la interacción con el alumnado. A través de estos bots los estudiantes obtenían información y pistas para completar las actividades, obtener la palabra secreta y llegar al Olimpo. También ha supuesto un gran esfuerzo tener que programar todas las preguntas y respuestas que se almacenaron en una base de datos (MySQL). El sistema luego registraba los intentos de cada alumno, y así iba sumando los puntos obtenidos. Los resultados estaban almacenados en una base de datos: cada vez que el alumno realizaba alguna prueba o test, los resultados se volcaban a la base de datos. De esta forma, aunque la profesora no estuviera visualizando el trabajo del estudiante en ese instante, sí tenía registrada su puntuación final.

Por otro lado, aunque el primer prototipo de libro tangible funcionó bastante bien,

siendo la primera implementación con la tecnología Arduino, se encontraron algunos problemas con los contactos eléctricos de las hojas.

Para un segundo prototipo, se decidió abandonar el diseño inicial y se optó por colocar en cada hoja una fotoresistencia LDR (sensor que se conecta al microcontrolador Arduino) que permita captar la luz. De esta forma, la hoja actual es la que más luz recibe, mientras que el resto de hojas, al estar unas encima de otras, captan bastante menos luz. Este diseño mejoró mucho el sistema eliminando las problemáticas encontradas en el primer prototipo.

En esta experiencia ha participado una profesora que puede ser considerada como un usuario con nivel intermedio dentro de la arquitectura de Virtual Touch. Al igual que en la experiencia Virtual Touch Eye, la profesora fue capaz de crear mundos virtuales e implementar actividades educativas dentro del mismo. Además, pudo realizar modificaciones básicas con respecto a la configuración de los mundos virtuales y de la conexión con las interfaces tangibles.

## 5.5. Experiencia 4: Virtual Touch PrimBox

Primbox es el siguiente prototipo funcional dentro de la arquitectura de Virtual Touch. Virtual Touch Primbox ha sido creado por Graciela Guerrero, una estudiante de máster que, empleando la arquitectura implementada en esta tesis, ha sido capaz de desarrollar una interfaz tangible en un periodo de tiempo breve y de una forma sencilla. Virtual Touch PrimBox, a diferencia de los prototipos anteriores, ha sido desarrollado por un usuario avanzado, corroborando la segunda hipótesis de investigación, según la cual la arquitectura puede adaptarse a los diferentes niveles de conocimientos de los usuarios educadores. Esta experiencia se ha llevado a cabo en el centro educativo Florida Secundaria (Catarroja, Valencia), contando con la participación de un total de 62 estudiantes.

### 5.5.1. Objetivo educativo

El principal objetivo pedagógico en este caso de estudio era desarrollar el lenguaje geométrico y mejorar la percepción espacial. Para realizar la experiencia, se agrupó a los estudiantes por parejas: en las actividades llevadas a cabo cada alumno tenía un rol. A uno de los estudiantes se le entregaba una composición de figuras geométricas y, mediante el lenguaje geométrico, tenía que dar las instrucciones oportunas para que el otro estudiante representara la misma composición sin haberla visto previamente. Posteriormente, se intercambiaron los roles para que ambos estudiantes practicasen el

lenguaje geométrico.

El tangible es de tipo “*ready-to-hand*” debido a que su principal uso es para interaccionar con el mundo virtual y todas las modificaciones de las figuras geométricas ocurren en el mundo virtual.

En la tabla 5.11 se resumen los objetivos y beneficios pedagógicos de Virtual Touch PrimBox.

Virtual Touch PrimBox	
<b>Fundamentos pedagógicos</b>	Se basa en el constructivismo propuesto por Piaget. El tangible es de tipo “ <i>ready-to-hand</i> ” debido a que la actividad transcurre en el mundo virtual y el tangible su usa como medio de interacción.
<b>Objetivos educativos</b>	Mejorar el lenguaje geométrico y la percepción espacial.
<b>Aportaciones Mundo virtual</b>	El mundo virtual facilita la creación de composiciones formadas por figuras geométricas. Además, el mundo virtual facilita la modificación de las propiedades de cada figura geométrica (tamaño, orientación y posición).
<b>Aportaciones interfaces tangibles</b>	Las interfaces tangibles facilitan la interacción con el mundo virtual. El tangible facilita la creación de objetos virtuales y la modificación de sus propiedades.

**Tabla 5.11.** Objetivos Educativos Virtual Touch PrimBox.

### 5.5.2. Objetivo técnico

PrimBox es el cuarto prototipo funcional implementado que se ha integrado dentro de la arquitectura Virtual Touch. Virtual Touch PrimBox es una interfaz tangible que ha sido diseñada por Graciela Guerrero [143] (estudiante de máster) en base a la arquitectura de Virtual Touch. Dentro de los tres tipos de usuarios educadores explicados en el capítulo 4, Graciela corresponde a un usuario educador avanzado con el perfil de desarrollador. De esta forma, en base a Virtual Touch, Graciela ha sido capaz de diseñar un tangible en un periodo de tiempo muy breve (2-3 meses). Por lo tanto, se confirma que la arquitectura Virtual Touch facilita la incorporación y la implementación de nuevas interfaces tangibles de una forma rápida y sencilla.

El objetivo técnico consiste en integrar tecnologías que usan el microcontrolador

Phidgets a la arquitectura Virtual Touch, pero desde la perspectiva de un usuario avanzado que es capaz de construir e integrar sus propios tangibles. El tangible desarrollado está compuesto de tres elementos: un contenedor de objetos (con un lector Phidgets RFID), figuras geométricas y finalmente un tablero que también integra un lector RFID. En la tabla 5.12 se pueden observar todos los componentes utilizados en la experiencia.

<b>Virtual Touch PrimBox</b>	
<b>PhidgetSlider</b>	Se han utilizado dos potenciómetros lineales que permiten la modificación de los objetos virtuales (cambiar las dimensiones, el color, la posición y la rotación).
<b>InterfaceKit 8/8/8</b>	Este kit de interfaz 8/8/8 permite la conexión del ordenador con el exterior y para ello cuenta con ocho entradas analógicas, ocho entradas digitales y ocho salidas digitales.
<b>Phidget RFID</b>	En este caso se dispone de dos lectores de radiofrecuencia. Los elementos tangibles cuentan con etiquetas RFID para su identificación.
<b>PhidgetTextLCD</b>	El tangible dispone de una pantalla LCD que muestra todas propiedades de los objetos o prims que se están modificando.
<b>Middleware</b>	Permite la configuración del servidor de mundos virtuales y gestiona la comunicación de los mundos virtuales con las interfaces tangibles.
<b>Mundo virtual</b>	Se ha creado un isla virtual para realizar las actividades de percepción espacial y aprendizaje de lenguaje geométrico. Se ha aprovechado el entorno tridimensional para el aprendizaje de la geometría.
<b>Tipo de usuario educador</b>	En esta experiencia ha participado un educador con nivel de conocimientos informáticos avanzados. En este caso, la educadora ha creado el tangible, que ha sido integrado a la arquitectura Virtual Touch.

**Tabla 5.12.** Componentes Virtual Touch PrimBox.

En imagen 5.23 se pueden apreciar los tres elementos que conforman el tangible PrimBox: un contenedor de figuras geométricas (caja azul), un lector de los atributos

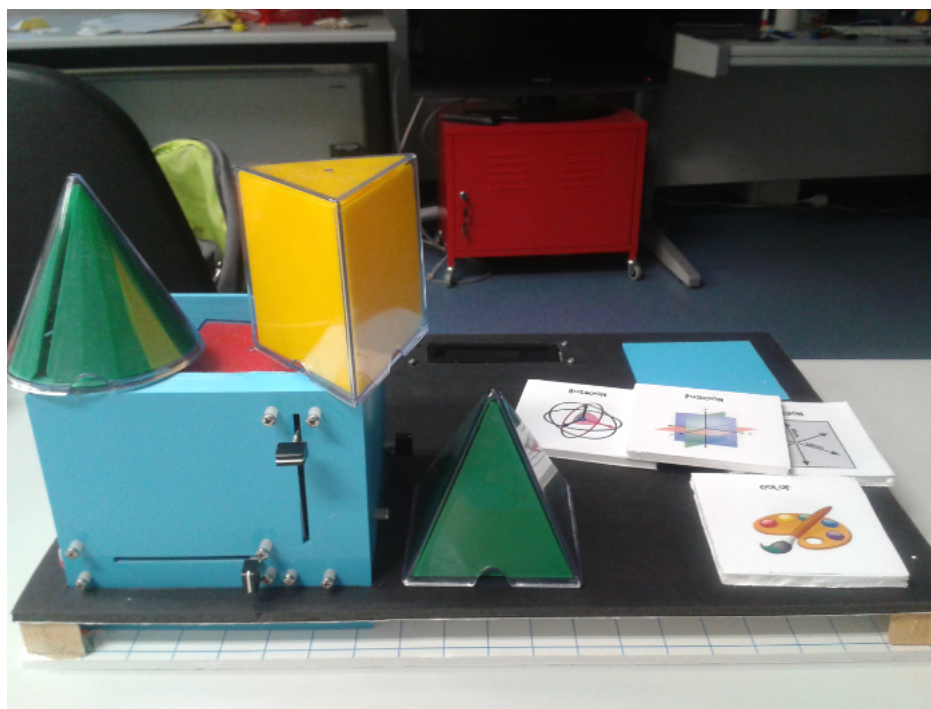


### 5.5. EXPERIENCIA 4: VIRTUAL TOUCH PRIMBOX

---

que tienen los diferentes objetos y una pantalla LCD informativa (que está integrada en un tablero de madera). Los componentes tangibles se clasifican en dos tipos: figuras geométricas y tarjetas de atributos que permiten modificar ciertas propiedades de los objetos presentes en el mundo virtual. Este tangible facilita la interacción y modificación de los objetos (desplazamiento, cambio de tamaño, rotación, cambio de color, etc.), que de entrada no son tan intuitivas y dependen del visor de mundos virtuales que se utilice (en este caso Singularity Viewer [132]). El usuario puede insertar una figura geométrica dentro del contenedor de figuras y esta figura aparece en el mundo virtual. Posteriormente, mediante las tarjetas, se pueden modificar de una forma sencilla las propiedades de la figura seleccionada.

El contenedor de figuras geométricas dispone de dos potenciómetros lineales que permiten modificar atributos de las figuras. Los atributos que se pueden modificar son la dimensión, la posición, la rotación y el color. Como se ha comentado anteriormente, se escoge la propiedad a cambiar mediante tarjetas que cuentan con una etiqueta RFID y que se colocan en el otro lector RFID que contiene la tabla.



**Figura 5.23.** Elementos tangibles de PrimBox.

#### 5.5.3. Desarrollo de la experiencia

La experiencia se realizó en el centro de Educación Secundaria Florida Secundaria (Catarroja, Valencia). Han participado un total de 62 estudiantes. El objetivo pedagógi-

co consistió en practicar el lenguaje geométrico y la percepción espacial. La actividad se realizó en parejas de estudiantes, con el objetivo de practicar la transmisión de información geométrica entre ellos de forma oral.

Los estudiantes se dividieron en dos grupos: un grupo de control y un grupo experimental. Los estudiantes del grupo de control emplearon la metodología clásica, con lápiz y papel. En cambio, los estudiantes del grupo experimental emplearon los mundos virtuales y las interfaces tangibles.

El grupo experimental contó con un total de 32 estudiantes de segundo y tercero de Educación Secundaria Obligatoria (ESO), mientras que el grupo de control contó con 30 estudiantes de tercero de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) .

En el grupo experimental, la experiencia se organizó en dos sesiones. La primera sesión se dedicó a conocer el funcionamiento de los mundos virtuales. Para ello, aprendieron a personalizar el avatar, a explorar la isla virtual y a familiarizarse con las principales herramientas y acciones a realizar dentro del mundo virtual (usar el chat de texto, creación de objetos, rotación y traslación de objetos, etc.)

En la imagen 5.24 se puede observar a una estudiante personalizando el avatar en la primera sesión de trabajo, durante la cual el principal objetivo era tener un primer contacto con los mundos virtuales.



**Figura 5.24.** Estudiante personalizando su avatar.

### 5.5. EXPERIENCIA 4: VIRTUAL TOUCH PRIMBOX

---

La segunda sesión estuvo planificada para realizarla en cuatro grupos de ocho estudiantes en cada grupo. En el transcurso de la sesión, con la presencia de la profesora de Matemáticas, se observó la comunicación entre los estudiantes empleando lenguaje geométrico y la percepción espacial de los objetos en tres dimensiones.

En la imagen 5.25 se pueden observar a dos estudiantes del grupo experimental realizando la actividad. El primer estudiante dispone de una hoja de papel donde aparece un conjunto de figuras geométricas con unas posiciones y orientaciones determinadas, y debe de explicarle de manera exclusivamente oral a su compañera cómo tiene que replicar la misma composición tridimensional en el mundo virtual. En esta actividad se tuvieron en cuenta tanto el tiempo como las instrucciones que se dieron entre ellos utilizando el lenguaje geométrico.



**Figura 5.25.** Alumnos realizando las actividades usando PrimBox.

En la imagen 5.26 se observa un ejemplo de las composiciones geométricas que tenían que realizar los alumnos en el mundo virtual.



**Figura 5.26.** Avatar realizando actividad usando el tangible PrimBox.

Para finalizar la actividad, se realizaron dos tests en el grupo experimental que permitieron evaluar la experiencia realizada y la usabilidad y efectividad del tangible PrimBox.

El grupo de control realizó la misma actividad relativa a la composición de figuras geométricas usando el lenguaje geométrico. Como se puede ver en la imagen 5.27, los estudiantes realizaban la actividad en el aula tradicional con lápiz y papel. Los estudiantes del grupo de control no realizaron las mismas sesiones que el grupo experimental, debido a que no necesitaban familiarizarse con los mundos virtuales y las interfaces tangibles.





**Figura 5.27.** Alumnos realizando la actividad de forma tradicional.

En el grupo de control participaron 30 estudiantes de tercero de Educación Secundaria Obligatoria (ESO), realizando también la actividad por parejas. También se aplicó la observación directa para ver si los estudiantes utilizaban el lenguaje geométrico de forma correcta. Al finalizar la actividad la profesora, en base a la observación directa y el resultado de la figura obtenida, puntuaba la actividad realizada.

### 5.5.4. Análisis de resultados

En este apartado se analizan los resultados obtenidos en la experiencia usando el tangible PrimBox.

#### 5.5.4.1. Resultados educativos

La experiencia se evaluó en base a variables como la atención prestada, la satisfacción, la motivación y la calificación obtenida en el resultado de la actividad. Los datos han sido recogidos mediante observación directa y mediante un cuestionario de usabilidad que se pasó a los estudiantes al finalizar la actividad. La calidad de la comunicación geométrica entre los estudiantes, evaluada mediante observación directa, se clasificó en tres niveles:

- **Nivel 1:** el estudiante no realizó la actividad.

- **Nivel 2:** el estudiante realizó la actividad pero sin llegar a una solución completa.
- **Nivel 3:** el estudiante completó la actividad satisfactoriamente.

Los estudiantes realizaron dos tests: un test de conocimientos previos y un test de usabilidad del sistema. Los tests permitieron a los estudiantes valorar su grado de satisfacción en la experiencia y evaluar la efectividad del tangible PrimBox. Por otro lado, se realizó una entrevista semiestructurada a la profesora para saber su opinión de la experiencia, en base a la observación directa de las actividades realizadas por los estudiantes.

En la tabla 5.13 se muestran los resultados de la encuesta realizada con el objetivo de conocer los conocimientos previos y valorar la experiencia utilizando Virtual Touch PrimBox. En este caso, destaca que la gran mayoría de estudiantes conocía previamente los mundos virtuales (65.4 %), como también a la mayor parte de los estudiantes les parecía fácil usar e interactuar en los mundos virtuales (96.2 %). Los estudiantes, sin necesitar apenas instrucciones, eran capaces en poco tiempo de utilizar perfectamente los mundos virtuales. Una dimensión interesante es la relativa al aprendizaje de las matemáticas y la geometría, en la que se puede observar que los propios estudiantes eran conscientes del potencial que tiene un entorno tridimensional para la interacción con figuras geométricas. Los resultados obtenidos son muy claros en cuanto a la motivación y al interés que mostraron los estudiantes al interactuar en un entorno similar a un juego. Destacamos que el 96.2 % de los estudiantes les gustó la experiencia y volvería a participar en experiencias similares.

Los resultados obtenidos son bastante similares al resto de experiencias: los estudiantes se sienten cómodos usando los mundos virtuales e interactuando con interfaces tangibles. Los estudiantes aumentan significativamente su motivación y su interés por aprender, gracias a un entorno que favorece la aplicación de estrategias de aprendizaje como la gamificación.

### 5.5. EXPERIENCIA 4: VIRTUAL TOUCH PRIMBOX

Dimensión	Preguntas	Sí	No
<b>Conocimiento previo</b>	¿Conocías los mundos virtuales?	17 (65.4 %)	9 (34.6 %)
	¿Has jugado en mundos virtuales?	15(57.7 %)	11(42.3 %)
<b>Facilidad de uso</b>	¿Te ha parecido fácil usar e interactuar en los mundos virtuales?	25 (96.2 %)	1(3.8 %)
	¿Ves difícil cambiar las propiedades de un objeto virtual?	10(38.5 %)	16(61.5 %)
	¿Has encontrado dificultad en realizar tareas colaborativas en el mundo virtual?	4(15.4 %)	22(84.6 %)
<b>Aprendizaje de matemáticas y geometría</b>	¿Crees que los mundos virtuales facilitan el entendimiento de los ejes de coordenadas X,Y,Z?	19(73.1 %)	7(26.9 %)
	¿Crees que los mundos virtuales te facilitarán la enseñanza de Matemáticas?	22(84.6 %)	4(15.4 %)
<b>Motivación</b>	¿Te ha gustado la sesión sobre mundos virtuales?	25(96.2 %)	1(3.8 %)
	¿Te gustaría realizar actividades usando los mundos virtuales en clase?	25(96.2 %)	1(3.8 %)
	¿Te gustaría realizar actividades usando los mundos virtuales desde casa?	18(69.2 %)	8(30.8 %)

**Tabla 5.13.** Resultados de la encuesta sobre mundos virtuales para experiencias PrimBox y FlyStick.

En la tabla 5.14 se muestra el test de usabilidad de los tangibles PrimBox y el tangible FlyStick (ver siguiente apartado). Respecto a las respuestas, en general son muy positivas, ya que les pareció muy fácil a los estudiantes interactuar con las interfaces tangibles. Los estudiantes apenas han necesitado las instrucciones del profesor (solo el 15.4 %), ni consideran que el esfuerzo realizado para realizar las actividades sea alto (92.4 %).

Cuestiones	Sí	No
¿Has encontrado fácil de utilizar los elementos tangibles?	8(61.5 %)	5(38.5 %)
¿Has encontrado fácil de utilizar el sistema Virtual Touch?	9(69.2 %)	5(30.8 %)
¿Has aprendido rápido a utilizar el sistema?	11(84.6 %)	5(15.4 %)
¿Te has sentido cómodo utilizando Virtual Touch?	10(76.9 %)	3(23.1 %)
¿Crees que Virtual Touch facilita el trabajo en equipo?	11(84.6 %)	2(15.4 %)
¿Has necesitado ayuda del profesor?	2(15.4 %)	11(84.6 %)
¿Te han parecido complejas las simulaciones de las actividades en el mundo virtual?	5(38.5 %)	8(61.5 %)
¿Ha sido muy alto el esfuerzo realizado para resolver las actividades?	1(7.7 %)	12(92.4 %)

**Tabla 5.14.** Cuestiones sobre usabilidad y experiencia de usuario de los estudiantes.

En la tabla 5.15 se muestran las conclusiones de la entrevista semiestructurada que se realizó a la profesora que ha participado en las experiencias con los tangibles PrimBox y FlyStick. En la entrevista semiestructurada la profesora destacó que, a pesar del potencial que tienen los mundos virtuales junto con las interfaces tangibles para la enseñanza de las matemáticas y la geometría, hoy en día el claustro de profesores no está suficientemente formado ni preparado para su uso e implantación en aula. Además, tampoco se dispone de un banco de recursos que les permita crear actividades educativas sin que les requiera de un excesivo esfuerzo. La profesora también destacó los problemas de infraestructura que tienen la mayoría de centros educativos (ancho de banda, ordenadores con tarjetas gráficas antiguas, etc.). La profesora comentó respecto a las actividades y a su evaluación el que los avatares (representación virtual de los alumnos) no tienen un control ni un seguimiento para observar su comportamiento en el transcurso y evaluación de las actividades. En actividades con muchos estudiantes resultaba difícil controlar el comportamiento dentro del mundo virtual. OpenSim no tiene, de entrada, la posibilidad de registrar todas las acciones que ha realizado cada avatar, aunque se pueden programar objetos para que así sea.



### 5.5. EXPERIENCIA 4: VIRTUAL TOUCH PRIMBOX

Pregunta	Respuesta
¿Habías jugado a los mundos virtuales anteriormente?	No
¿Te ha parecido interesante el sistema Virtual Touch?	Sí
¿Has requerido soporte técnico para el uso de Virtual Touch?	Sí
¿Crees que los mundos virtuales pueden ayudar a la enseñanza de Matemáticas?	Los mundos virtuales ayudan a visualizar escenarios sobre los cuales se pueden aplicar procesos matemáticos. Los mundos virtuales ayudan al desarrollo de la visión espacial y permiten desarrollar la creatividad aumentando la motivación del alumnado. Permite la realización de actividades colaborativas en tiempo real y sin importar el lugar donde se encuentre el usuario.
¿Te ha parecido difícil usar los tangibles?	No
¿Has tenido dificultades para crear actividades educativas dentro del mundo virtual?	Sí
¿Cuáles son las mayores ventajas de usar Virtual Touch (PrimBox y FlyStick)?	Las interfaces tangibles han permitido recrear movimientos que no requieren de una alta precisión y resulta muy cómoda de usar para el estudiante.
¿Cuáles son las mayores desventajas Virtual Touch?	Los profesores necesitan de entrenamiento sobre la realidad mixta, ya que resulta difícil diseñar actividades que se ajusten al currículum. Se necesitaría tener un banco de recursos que facilitara al docente la creación de actividades didácticas. La complejidad técnica en base a la infraestructura necesaria para trabajar con el sistema.
¿El sistema puede causar distracciones?	Sí
Valoración de las experiencias	Los estudiantes estaban motivados. En algunas actividades, los estudiantes con NEE tuvieron el mismo rendimiento que el resto de estudiantes. Debería existir un mecanismo para realizar un seguimiento de la actividad de cada avatar y poder controlar el comportamiento.
Valora Virtual Touch PrimBox	Ventajas: Fácil de instalar y utilizar. Desventajas: Habría que valorar si se puede reducir el tamaño del tangible.
Valora Virtual Touch FlyStick	Ventajas: Ergonomía del tangible, ligero, fácil de instalar y utilizar. Desventajas: El contacto del botón para cortar el plano es demasiado duro.

**Tabla 5.15.** Resumen de algunos aspectos de la entrevista semiestructurada realizada a la profesora de Matemáticas.

En la tabla 5.16 se visualizan los resultados estadísticos que comparan los dos grupos que han participado en la experiencia. El grupo de control se refiere al grupo de estudiantes que no han usado el tangible PrimBox, en el que han participado un total de 32 estudiantes, y el grupo experimental son los estudiantes que sí han hecho uso del tangible PrimBox, habiendo participado 30 estudiantes. A ambos grupos no se les pasó ningún test previo y por tanto todos parten de la misma base. A los dos grupos (control y experimental) se les pidió realizar la misma actividad sobre la percepción espacial y descripción de las figuras geométricas usando el lenguaje técnico pertinente. La evaluación se realizó en base al grado de similitud de la composición de figuras geométricas y a la comunicación adecuada usando el lenguaje geométrico. En los resultados de la tabla 5.16 se puede observar que la media aritmética es mucho mejor en el grupo experimental que en el grupo de control. Se obtuvieron unos mejores resultados utilizando el tangible, aunque a nivel estadístico se necesitaría realizar más estudios para poder afirmar que los tangibles mejoran el rendimiento de los estudiantes. En la experiencia, además de analizar los resultados obtenidos, se han evaluado las evidencias tomadas tanto en la observación directa con los alumnos junto con los tests realizados.

Resultado	Grupo de control	Grupo experimental
Tamaño de muestra	n=29	m=30
Media aritmética de los resultados	X=74,5	Y=100
Varianza	$S_1 = 5403,07$	$S_2 = 1708,7$
Desviación estándar	$SD_1 = 73,50$	$SD_2 = 41,33$

**Tabla 5.16.** Resultados estadísticos del tangible PrimBox.

#### 5.5.4.2. Resultados técnicos

Esta experiencia ratifica la segunda hipótesis de investigación de esta tesis (ver capítulo 1): se ha comprobado que la arquitectura Virtual Touch permite desarrollar aplicaciones educativas mediante realidad mixta, y que se adaptan al nivel de conocimientos del educador. Esta experiencia ha contado con un usuario avanzado que ha sido capaz de crear su propio tangible e integrarlo a la arquitectura en un periodo de tiempo breve.

La principal limitación encontrada en esta experiencia ha sido el hecho de disponer de un único tangible, que ha causado que no se hayan podido realizar más experiencias de manera simultánea, aunque se aprovechó el tiempo para que el resto de alumnos interactuaran en el mundo virtual y realizaran diferentes actividades dentro del mismo.

El centro donde se ha llevado a cabo la experiencia, al ser concertado y disponer de un servicio propio de Informática, ha sido mucho más ágil a la hora de abrir puertos y

de hacer configuraciones de los mundos virtuales.

En esta experiencia, la arquitectura Virtual Touch ha sido adecuada para un educador de nivel avanzado con elevados conocimientos en informática y electrónica. De este modo, Graciela Guerrero ha sido capaz de crear, en un periodo de tiempo muy breve, una nueva interfaz tangible que se integra con el sistema Virtual Touch. Se ha validado, por tanto, la transparencia y modularidad de la arquitectura Virtual Touch, comprobándose que permite incorporar nuevos sensores y tecnologías de manera sencilla.

## 5.6. Experiencia 5: Virtual Touch FlyStick

FlyStick es el quinto prototipo funcional que se ha integrado dentro de la arquitectura Virtual Touch. Virtual Touch FlyStick es una interfaz tangible desarrollada por Andrés Ayala [116] (estudiante de máster), que aprovechando la modularidad del sistema, ha sido capaz de integrar su propio tangible a la arquitectura de Virtual Touch, de una forma rápida y sencilla.

El objetivo pedagógico era el aprendizaje de las secciones cónicas. Para ello, el tangible permite una interacción más sencilla y natural, mientras que el mundo virtual proporciona un espacio tridimensional que facilita la visualización de las secciones cónicas desde diferentes perspectivas.

### 5.6.1. Objetivo educativo

El objetivo pedagógico en este caso de estudio era el aprendizaje de las diferentes secciones cónicas. Las secciones cónicas, atendiendo al corte en el plano, pueden generar una de las siguientes cuatro figuras: una parábola, una elipse, una circunferencia o una hipérbola. El alumno tenía que ser capaz de reconocer los distintos tipos de cónicas que se formaban al cortar una superficie cónica de revolución por un plano.

La experiencia se llevó a cabo en el centro educativo Florida Secundaria (Catarroja, Valencia). En esta experiencia han participado un total de 58 estudiantes de segundo y tercero de Educación Secundaria Obligatoria (ESO).

El tangible utilizado es de tipo “*ready-to-hand*” debido que se usa de forma invisible y toda la actividad transcurre en el mundo virtual siendo el tangible el medio de interacción.

Virtual Touch FlyStick	
<b>Fundamentos pedagógicos</b>	Se basa en el constructivismo propuesto por Piaget. El tangible utilizado es de tipo “ <i>ready-to-hand</i> ” debido a que la actividad del aprendizaje de cónicas transcurre en el mundo virtual.
<b>Objetivos educativos</b>	Aprender las diferentes secciones cónicas resultantes de la intersección entre un cono y un plano (parábola, hipérbola, elipse y circunferencia).
<b>Aportaciones Mundo virtual</b>	El mundo virtual facilita la visualización de las secciones cónicas en tres dimensiones y desde diferentes perspectivas.
<b>Aportaciones interfaces tangibles</b>	La interfaz tangible facilita la interacción con el mundo virtual, permitiendo la manipulación de la posición y orientación del plano de corte.

**Tabla 5.17.** Objetivos Educativos Virtual Touch FlyStick.

### 5.6.2. Objetivo técnico

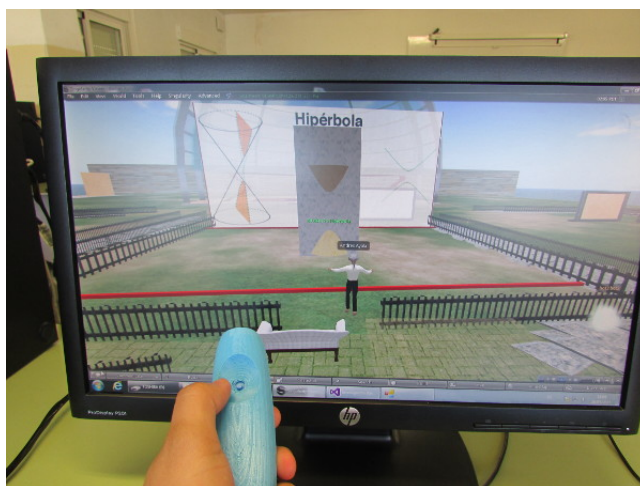
El objetivo técnico es la construcción e integración de la interfaz tangible FlyStick, desarrollada por un usuario avanzado (Andrés Ayala [144]), a la arquitectura Virtual Touch. Las interfaces tangibles PrimBox y FlyStick han sido desarrolladas en pocos meses, por lo que se corrobora la modularidad y transparencia que presenta el sistema Virtual Touch para poder incorporar nuevos tangibles, de una forma relativamente sencilla y en un tiempo razonable.

En la tabla 5.18 se visualizan todos los componentes que se han utilizado en este caso de estudio.

Virtual Touch FlyStick	
<b>PhidgetSpatial 3/3/3</b>	Se ha utilizado un PhidgetSpatial que dispone de giroscopio, acelerómetro y magnetómetro.
<b>Phidget Force Sensor</b>	El tangible dispone de un sensor de fuerza que se ha usado como un botón incorporado al tangible en forma de joystick.
<b>Prototipo de joystick</b>	Se ha creado un tangible con la forma similar a un joystick inalámbrico para la manipulación de las secciones cónicas generadas en el mundo virtual.
<b>Middleware</b>	Permite la configuración del servidor de mundos virtuales y gestiona la comunicación de los mundos virtuales con las interfaces tangibles.
<b>Mundo virtual</b>	Se ha creado una isla virtual para el aprendizaje de las secciones cónicas.
<b>Tipo de usuario educador</b>	En esta experiencia ha participado un usuario avanzado que ha sido capaz de desarrollar su propio interfaz tangible e integrarlo al sistema Virtual Touch.

**Tabla 5.18.** Componentes Virtual Touch FlyStick.

En la imagen 5.28 se observa el tangible Virtual Touch FlyStick, que ha sido creado con impresora 3D y utilizando componentes pertenecientes a la tecnología Phidgets.



**Figura 5.28.** Virtual Touch FlyStick.

### 5.6.3. Desarrollo de la experiencia

Para esta experiencia los estudiantes se dividieron en dos grupos: un grupo de control y un grupo experimental. En el grupo experimental han participado 27 estudiantes, mientras que en el grupo de control han participado 31 estudiantes, todos ellos de segundo y tercero de la ESO.

Los estudiantes del grupo experimental realizaron la experiencia usando Virtual Touch FlyStick. Los alumnos podían aprender los diferentes conceptos sobre las secciones cónicas dentro del mundo virtual, interactuando con el tangible FlyStick. En cambio, los estudiantes del grupo de control realizaron la experiencia usando los recursos y metodologías tradicionales (explicación en la pizarra y ejercicios en papel). Se comprobó la ventaja de usar los mundos virtuales, ya que proporcionan un entorno virtual que permite al alumno ver de forma más clara las diferentes secciones cónicas en tres dimensiones, mientras que en la pizarra no se posee la misma perspectiva ni tampoco se podía interactuar en tiempo real con el plano.

La experiencia del grupo experimental se estructuró en tres sesiones:

1. Sesión de introducción a los mundos virtuales.
2. Sesión de aprendizaje de las cónicas y evaluación.
3. Sesión de postevaluación.

La primera sesión corresponde a la sesión introductoria en la que se tenía como objetivo familiarizar al estudiante en los mundos virtuales. Al igual que en experiencias anteriores, el estudiante aprendió a navegar por el mundo virtual, a crear sus propios objetos y a interactuar con el entorno.

La segunda sesión estuvo destinada al aprendizaje de las secciones cónicas mediante el entorno de realidad mixta generado por Virtual Touch FlyStick. Para ello, mediante la interacción con el tangible, el estudiante realizó diferentes ejercicios prácticos generando las secciones cónicas. Posteriormente, se evaluaron los conocimientos adquiridos por medio de un test, en el que el estudiante debía de identificar las diferentes secciones cónicas que se generaban. Además, se contaba con la evaluación mediante la observación directa de los profesores participantes en la experiencia. También se realizaron dos tests adicionales para valorar la experiencia y la usabilidad del tangible.

La tercera sesión consistió en realizar el mismo test unas semanas más tarde de realizar la segunda sesión. Los resultados obtenidos mostraron que el estudiante retenía mejor los resultados obteniendo un aprendizaje significativo. Se observó que algunos

## 5.6. EXPERIENCIA 5: VIRTUAL TOUCH FLYSTICK

---

estudiantes trataban de memorizar las respuestas para realizar el test de forma satisfactoria y esto repercutió en el aprendizaje a largo plazo.

En la imagen 5.29 se observa un estudiante del grupo experimental haciendo uso del tangible FlyStick, en el que puede mover el plano y así observar cómo se generan las diferentes secciones cónicas (parábola, circunferencia, elipse o hipérbola) dentro del mundo virtual. El entorno de realidad mixta que se emplea facilita un aprendizaje activo, enriquecedor y significativo.



**Figura 5.29.** Alumno interactuando con FlyStick.

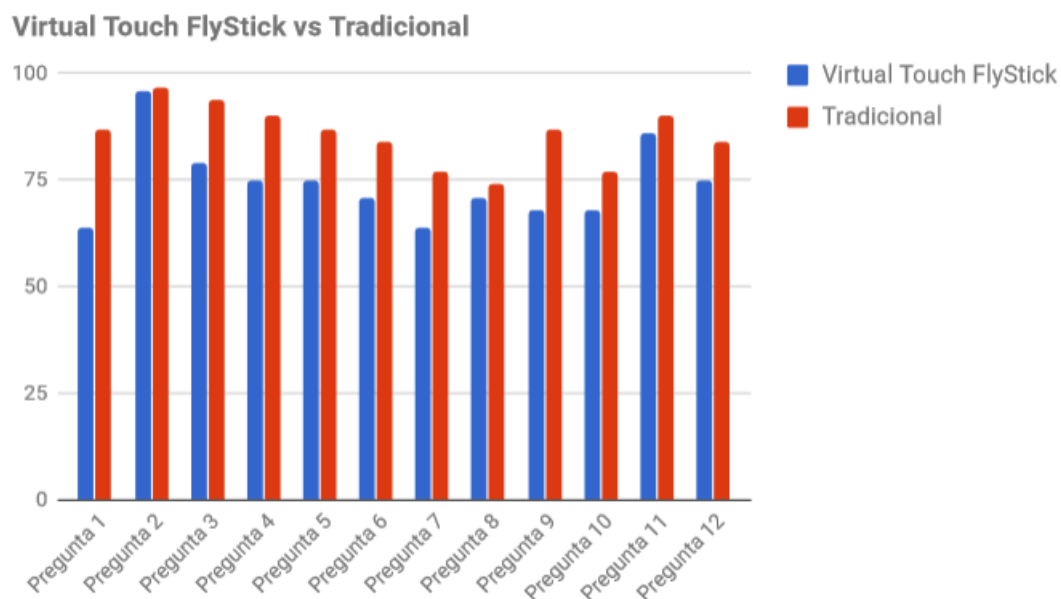
La experiencia realizada por el grupo de control se estructuró en una única sesión en la que se explicaron los conceptos relativos a las secciones cónicas, se resolvieron las dudas en la pizarra y finalmente se realizó la evaluación mediante la realización del mismo test que el grupo experimental. De igual forma que el grupo experimental, algunos alumnos repitieron el test dos semanas más tardes para evaluar la retención del aprendizaje.

### 5.6.4. Análisis de resultados

Tras la realización de la experiencia, se han analizado los resultados obtenidos con el objetivo de valorar los beneficios que tienen los mundos virtuales e interfaces tangibles en la educación.

#### 5.6.4.1. Resultados educativos

Los estudiantes realizaron la evaluación por medio de un test en el que se evaluaba si eran capaces de reconocer y distinguir las secciones cónicas estudiadas. De esta forma, con los resultados obtenidos en ambos grupos (virtual y tradicional) se realizó una comparativa para comprobar si había diferencias significativas en los resultados obtenidos.



**Figura 5.30.** Comparativa FlyStick vs Tradicional.

La muestra poblacional estaba formada por alumnos de segundo y tercer curso de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO), que se dividían en dos grupos:

- **Grupo de control:** formado por 31 estudiantes que recibían explicaciones teóricas en un aula tradicional usando la pizarra para explicar las cónicas que se pueden obtener como intersección de una superficie cónica con un plano.
- **Grupo experimental:** formado por 27 estudiantes que recibían las explicaciones sobre las cónicas y las curvas generadas directamente desde el mundo virtual y haciendo uso del tangible FlyStick.

Después de la experiencia se les aplicó un mismo test a ambos grupos para valorar el aprendizaje obtenido.

En este estudio, se utilizó la herramienta XLSTAT, con la que se realizó un contraste



## 5.6. EXPERIENCIA 5: VIRTUAL TOUCH FLYSTICK

---

de hipótesis. La hipótesis nula  $H_0$  expresaba que no existían diferencias significativas entre el uso del tangible en la mejora de la comprensión de las cónicas.

En la tabla 5.19 se muestran los valores estadísticos obtenidos para los dos grupos: grupo de control y el grupo experimental.

Resultado	Grupo de control	Grupo experimental
Tamaño de muestra	n=31	m=27
Media aritmética	X=85,753	Y=77,160
Varianza	$S_1 = 445,286$	$S_2 = 761,713$
Desviación estándar	$SD_1 = 21,102$	$SD_2 = 27,6$

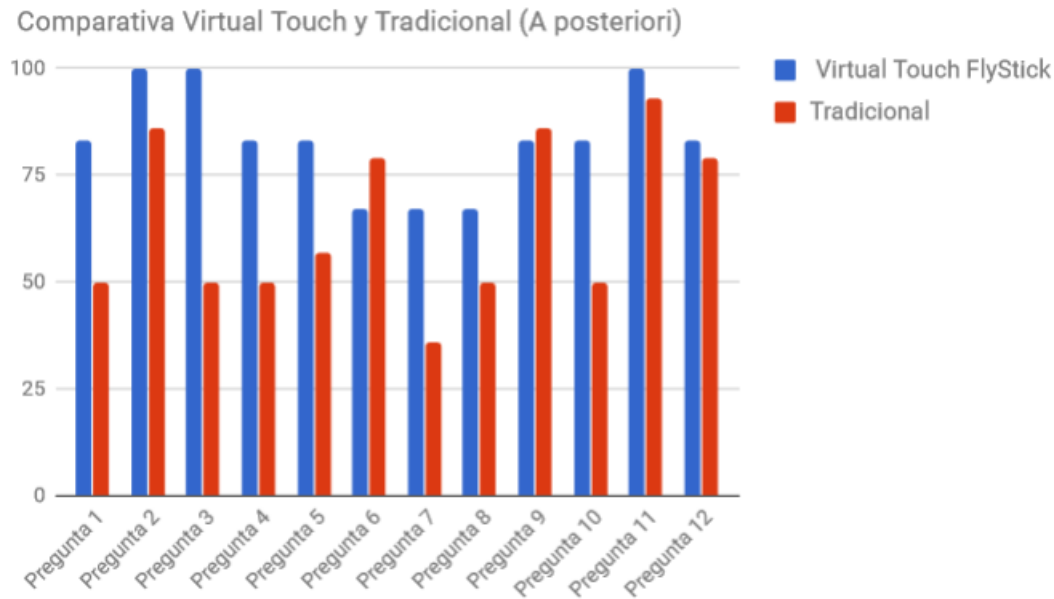
**Tabla 5.19.** Resultados estadísticos del tangible FlyStick.

En el proceso de realización de los estudios estadísticos se ha aplicado la distribución t de Student unilateral positiva de una cola, donde se estableció un nivel de confianza del 95 % y por tanto el nivel de significación es  $\alpha = 0,05$ . Se obtuvo que el valor empírico es 0.053 y el crítico es de 1.6725 (para 56 grados de libertad). Al ser el valor empírico menor que el crítico, se cumple la hipótesis nula, y por tanto no se puede afirmar que el entendimiento de las cónicas y las curvas generadas dependan directamente del tangible FlyStick.

En resumen, se comprobó que sería necesario disponer de una mayor cantidad de estudiantes para poder realizar una afirmación sobre si el tangible realmente mejora o no el aprendizaje del estudiante.

Una vez finalizado el primer estudio, y no habiendo obtenido una evidencia clara sobre las posibles mejoras en el aprendizaje usando tangibles y mundos virtuales respecto a las metodologías clásicas, se decidió repetir la evaluación de conocimientos en un grupo de alumnos dos semanas más tarde, para así poder valorar la retención de los conceptos al cabo de un tiempo.

Al repetir el test dos semanas después de la primera evaluación, se observó que los resultados eran mejores en el grupo virtual que en el grupo de control. Se comprobó que hubo un aprendizaje más significativo (los alumnos retuvieron mejor los contenidos) en el grupo que empleó el interfaz tangible, con respecto al grupo tradicional. La evidencia parece indicar que los estudiantes del grupo de control se limitaron únicamente a recordar los conceptos básicos para poder realizar el test satisfactoriamente, mientras que los estudiantes del grupo virtual comprendieron mejor el fondo de la materia estudiada, lo que les permitió tener un mayor grado de retención.



**Figura 5.31.** Comparativa FlyStick vs Tradicional a posteriori.

Las actividades se realizaron con grupos heterogéneos, en el que participaron estudiantes con necesidades educativas especiales y que eran motivo de observación, debido a sus problemas de comprensión de las actividades. En este caso, se observó que los alumnos con necesidades educativas especiales mejoraron sus resultados en un 86 % con respecto a las calificaciones previas en la asignatura de Matemáticas. Por lo tanto, deducimos que, además de la motivación que conlleva el interactuar con mundos virtuales e interfaces tangibles dentro del aula, el sistema utilizado les permitió mejorar la competencia matemática siendo especialmente efectiva con alumnos con problemas en el aprendizaje.

Para analizar los resultados obtenidos mediante un estudio estadístico, se aplicó la prueba t de Student para dos muestras apareadas (**t-Test: Paired Two Sample for Means**). Este tipo de prueba para muestras apareadas se aplica a grupos de unidades que han sido evaluadas en dos ocasiones diferentes. En efecto, en esta experiencia, se ha pasado el test durante la experiencia y luego se ha vuelto a pasar dos semanas más tarde, tanto al grupo de control como con el grupo de estudiantes que emplearon el sistema Virtual Touch.

De esta forma, se pueden comparar los resultados en el momento de realizar la experiencia y ver lo que han retenido al repetir el mismo test dos semanas más tarde. Respecto a los resultados, en el grupo de control el análisis estadístico rechaza la hipótesis nula con un nivel de significancia del 5 %. Por tanto se acepta la hipótesis alternativa, es decir, hay diferencias significativas en los resultados del grupo de control entre los dos test realizados. En concreto, las calificaciones obtenidas dos semanas después empeoran los resultados en un 84.6 % de los casos. De la misma forma, apli-

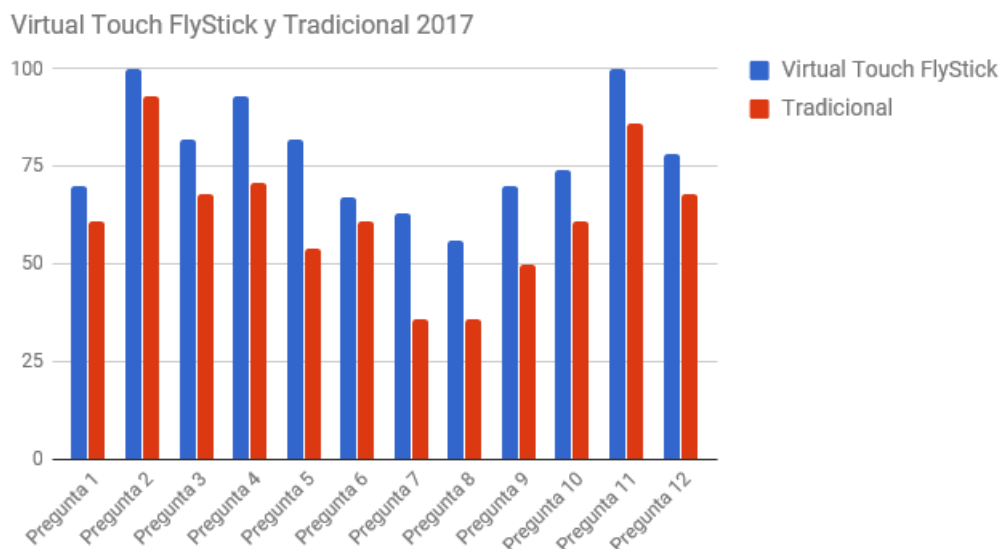
cando el t-Test Paire Two Samples for Means en el grupo experimental, el resultado obtenido es la hipótesis nula con un nivel de significancia del 5 %. Es decir, que no hay diferencias significativas entre los resultados de los dos tests de los alumnos en el grupo experimental. A pesar de no haber diferencias significativas, se ha detectado que en un 50 % de los casos, los alumnos mejoraron ligeramente su calificación, por lo que en conclusión se observa que los alumnos que han utilizado los tangibles tienen mejores resultados y han retenido mejor los conceptos estudiados con respecto al grupo de control.

En el año 2017 se repitió la experiencia, y en este caso los resultados fueron significativamente mejores en los alumnos del grupo experimental que hicieron uso de los mundos virtuales y las interfaces tangibles. En la tabla 5.20 se observan los datos estadísticos correspondientes a esta experiencia. Se aprecia que la media aritmética del grupo de control está en 56,85 %, mientras que en el grupo experimental (que hace uso del tangible FlyStick) la media aritmética está en el 80,9 %, por lo que deducimos que la media de resultados son significativamente mejores en el grupo experimental.

Resultado	Grupo de control	Grupo experimental
Tamaño de muestra	n=28	m=27
Media aritmética	X=56,8452	Y=80,86419753
Varianza	$S_1 = 787,31$	$S_2 = 276,789$
Desviación estándar	$SD_1 = 28,059$	$SD_2 = 16,637$

**Tabla 5.20.** Resultados estadísticos del tangible FlyStick experiencia 2017.

En la imagen 5.32 se observa la comparativa de cada pregunta respecto al grupo experimental que utilizan los mundos virtuales y las interfaces tangibles respecto al grupo de control (tradicional).



**Figura 5.32.** Comparativa FlyStick vs Tradicional.

En la tabla 5.21 se aprecian los puntos fuertes y débiles detectados durante la experiencia realizada tanto para el tangible FlyStick como para el tangible PrimBox. A pesar de aparecer algunos aspectos a mejorar, se observa que el sistema mejora el interés del estudiante y el aprendizaje es más significativo teniendo una mejor retención de los contenidos desarrollados. La realización de este tipo de experiencias hace que el estudiante aprenda los conceptos mediante la práctica y la exploración. En cambio, en otros contextos el estudiante aprende los contenidos de memoria con el objetivo de mostrarlos únicamente en el examen y en pocos días los ha olvidado.

Puntos fuertes	Puntos débiles
<ul style="list-style-type: none"><li>■ Aprendizaje significativo</li><li>■ Aprendizaje activo</li><li>■ Reduce la impulsividad</li><li>■ Mejora la motivación</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Distracción en algunos alumnos</li><li>■ Necesidad de equipamiento (equipos con buena tarjeta gráfica, configuración de puertos, ancho de banda adecuado...)</li><li>■ Es conveniente evaluar el factor 'novedad' en un periodo de tiempo más largo.</li><li>■ Necesidad de crear y adaptar todas las actividades y los materiales a impartir al mundo virtual.</li><li>■ Necesidad de formación por parte de los profesores.</li><li>■ Dificultad de controlar el comportamiento de los avatares.</li></ul>

---

**Tabla 5.21.** Puntos fuertes y débiles Virtual Touch: PrimBox y FlyStick

#### 5.6.4.2. Resultados técnicos

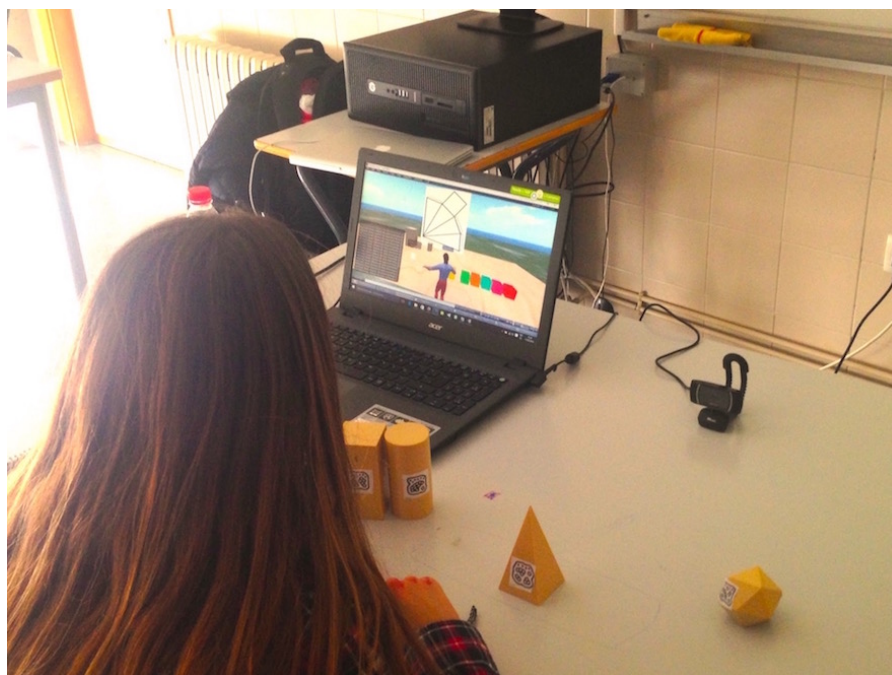
En esta experiencia, el tangible ha sido desarrollado por Andrés Ayala que corresponde a un usuario educador de nivel avanzado dentro de la clasificación de usuarios de la arquitectura Virtual Touch. El usuario avanzado ha sido capaz de crear una nueva interfaz tangible en un periodo de tiempo muy breve, con lo que se demuestra que la arquitectura facilita la creación e integración de nuevos tangibles y su conexión con los mundos virtuales.

## 5.7. Experiencias complementarias

La siguiente experiencia fue una prueba de integración sobre ReactIVision [145], que es un framework muy utilizado en mesas interactivas. Este framework permite comunicar objetos físicos con los mundos virtuales mediante el uso de fiduciales utilizando el protocolo TUIO [146]. Usando ReactIVision se evita la necesidad de añadir electrónica a las interfaces tangibles: simplemente pegando el marcador impreso al objeto tangible se puede identificar su posición haciendo uso del framework ReactIVision [145]. Además, el algoritmo de detección visual con fiduciales es muy robusto, gracias a la redundancia visual que éstos aportan. En las pruebas de concepto realizadas con una webcam básica apenas se han encontrado problemas, incluso con gran variabilidad de las condiciones de iluminación.

La experiencia consistió en realizar diferentes actividades educativas combinando los mundos virtuales y el framework ReactIVision, con el objetivo pedagógico de practicar los conceptos de geometría tales como los desplegables, las caras, las aristas, los vértices y los ángulos de diversas figuras geométricas.

En la imagen 5.33 se observa una estudiante realizando un ejercicio que consistía en mostrar a la webcam la figura geométrica que correspondía a la figura desplegada que aparece en el mundo virtual. Si la figura mostrada correspondía al desplegable presente en el mundo virtual, se mostraba un feedback indicando si se había realizado correctamente o no la actividad.



**Figura 5.33.** Alumna interactuando con tangibles y fiduciales.

## 5.7. EXPERIENCIAS COMPLEMENTARIAS

---

En la imagen 5.34 se visualiza otra actividad realizada en el que el estudiante debía ordenar las figuras geométricas atendiendo a una determinada propiedad, como puede ser el número de vértices, el número de aristas o el número de ángulos.



**Figura 5.34.** Alumno seleccionando las figuras geométricas para actividad con OpenSim.

En la imagen 5.35 se observa un estudiante realizando un ejercicio, en el que debía mostrar a la webcam las figuras cuyo número de vértices sume un determinado número. De esta forma, el estudiante debía saber cuantos vértices dispone cada figura geométrica.



**Figura 5.35.** Alumno contando vértices y aristas para una actividad de geometría con OpenSim.

En las tres actividades, los estudiantes pudieron manipular las figuras geométricas y así pudieron contar las caras, las aristas, los vértices o los ángulos.

Como se ha comentado previamente, la experiencia ha aportado por una parte otra forma de ver los beneficios que tienen las interfaces tangibles en la enseñanza (en este caso de las matemáticas y la geometría) y por otro lado, la incorporación de otros frameworks a la arquitectura de Virtual Touch.

Esta experiencia confirma la versatilidad y la modularidad de la arquitectura Virtual Touch. La arquitectura ha permitido integrar el framework de ReacTIVision de una forma sencilla, con poco esfuerzo y en poco tiempo. En el transcurso de esta tesis, la arquitectura Virtual Touch ha permitido integrar una gran variedad de tecnologías, que pueden ser útiles para los docentes, en el proceso de creación de actividades de enseñanza-aprendizaje en un entorno de realidad mixta.





## 6 Conclusiones

### 6.1. Conclusiones

El objetivo de esta tesis ha sido el diseño, la implementación y la validación de una arquitectura que permite la creación de actividades educativas mediante la combinación de mundos virtuales e interfaces tangibles, generando un entorno de realidad mixta. Como parte del trabajo desarrollado en esta tesis se han diseñado cinco prototipos funcionales en base a la arquitectura implementada, que han sido probados en diferentes centros educativos.

La arquitectura implementada en esta tesis está estructurada en capas (como se puede ver en el capítulo 4) cumpliendo así el requisito formal RNFA5 (en el capítulo 4 puede encontrarse una descripción completa de los requisitos formales que se fijaron para la arquitectura). Como puede observarse en el capítulo 5, a lo largo de las experiencias realizadas ha habido un incremento considerable del volumen de usuarios participantes, que la arquitectura ha absorbido sin mayor problema. Esto demuestra que la arquitectura satisface el requisito RNFA6: el sistema implementado es escalable y permite aumentar el volumen de usuarios y recursos utilizados. La arquitectura ha sido diseñada para estar en continuo funcionamiento, y en el transcurso de las pruebas y experiencias así lo ha hecho, satisfaciendo el requisito RNFAP3 sobre la disponibilidad y continuidad del sistema.

En las experiencias realizadas se empleó el sistema operativo Windows para la máquina que actuaba de servidor, y los sistemas operativos Windows, Linux y Mac OS en los clientes, satisfaciendo así el requisito RNFAP5. La conexión a través del cliente se realizó mediante una dirección IP y un rango de puertos satisfaciendo así el requisito RNFAP8. En la experiencia Cúbica, debido a problemas en la red del centro educativo,

se decidió usar un servidor local, demostrando así que se satisface el requisito RNFAP7.

La arquitectura contempla tres tipos de usuarios educadores en base a su nivel de conocimientos de informática: el usuario básico, el usuario intermedio y el usuario avanzado, además del usuario tipo estudiante. Para la conexión de todos ellos la arquitectura proporciona un mecanismo de autenticación, satisfaciendo así el requisito de seguridad RNFAP4. En las cinco experiencias llevadas a cabo en centros educativos han participado profesores pertenecientes a los tres tipos de usuarios educadores. Según puede comprobarse en el capítulo 5, todos ellos han sido capaces de conectar y usar las interfaces tangibles de una forma sencilla satisfaciendo el requisito de conectividad RNFA9. Las interfaces tangibles desarrolladas, según desprende las encuestas de usabilidad realizadas, resultaron intuitivas y fáciles de usar, por lo también se satisficieron así los requisitos de RNFAP1 y RNFAP2, relativos a la usabilidad y apariencia respectivamente.

En la experiencia Cúbica participó un usuario con nivel básico que fue capaz de conectar los tangibles y usar el sistema de forma básica. En las experiencias Virtual Touch Eye y Virtual Touch Book participó un usuario con nivel intermedio que fue capaz de realizar modificaciones básicas en el sistema. En las experiencias Virtual Touch Primbox y Virtual Touch FlyStick participaron dos usuarios de nivel avanzado que fueron capaces de desarrollar sus propias interfaces tangibles en un tiempo breve. Se comprueba así que el requerimiento RNFA2 sobre la configurabilidad del sistema se satisface. Las configuraciones que realizan los usuarios son almacenadas para su posterior uso, satisfaciendo así el requisito de persistencia RNFA8. Además, los educadores contaron con recursos y actividades predefinidas para uso y reutilización satisfaciendo el requisito RNFAP9.

Durante las experiencias, se han integrado diferentes tecnologías hardware para la implementación de interfaces tangibles. Cúbica fue el primer prototipo funcional en el que se usó la tecnología Phidgets para la conexión de las interfaces tangibles con los mundos virtuales satisfaciendo el requisito RFVTC2. En la segunda experiencia, Virtual Touch Eye usó la tecnología Microsoft Kinect para el reconocimiento de gestos y figuras geométricas satisfaciendo el requisito RFVTE2. En la tercera experiencia, Virtual Touch Book está compuesto de un libro físico usando la tecnología Arduino satisfaciendo el requerimiento RFVTE2. En las dos últimas experiencias, Virtual Touch PrimBox y Virtual Touch FlyStick usaron otros sensores dentro de la tecnología Phidgets, satisfaciendo los requisitos RFVTP2 y RFVTF2 respectivamente.

Por lo tanto, la arquitectura implementada en esta tesis ha permitido integrar tres tipos de tecnologías heterogéneas, demostrando su interoperabilidad, y satisfaciendo así el requisito RNFA3. Los usuarios avanzados, que construyeron los prototipos funcionales Virtual Touch PrimBox y Virtual Touch FlyStick, usaron la API que proporciona la arquitectura, demostrando que la arquitectura satisface el requisito formal RNFA7: la arquitectura proporciona una API que describe la forma de conexión e intercambio

de datos entre los componentes del sistema. Además se usó entre otros el protocolo HTTP indicado en el requisito RNFAP6.

Finalmente, durante los desarrollos de las distintas experiencias (ver capítulo 5) fue necesario ir incluyendo nuevos módulos (por ejemplo, los módulos que manejaban las nuevas tecnologías de interfaces tangibles que se incluían en cada experiencia), y modificando otros. Se comprobó que dichas adiciones de módulos nuevos o modificaciones de módulos ya existentes fueron realizadas sin problemas por los usuarios involucrados, alcanzándose así los requisitos RFNFA1 y RNFA4.

Atendiendo a todos estos requisitos que se han satisfecho, se corrobora la hipótesis de investigación H2: **ha sido posible definir una arquitectura que permite desarrollar aplicaciones educativas mediante realidad mixta, y que se adapta al nivel de conocimientos informáticos del educador responsable.**

Según se describe en el capítulo 5, en cada experiencia se desarrolló un interfaz tangible adecuado a los objetivos pedagógicos deseados, satisfaciendo los requerimientos sobre las interfaces tangibles indicadas en el capítulo 4.

En la experiencia Cúbica se usó una maqueta de madera que representaba el concepto de array y unos cubos para interactuar con el sistema, cuya representación se reproducía en el mundo virtual, satisfaciendo así el requisito RFVTC1.

En la experiencia Virtual Touch Eye se implementaron unas figuras geométricas que eran reconocidas por el dispositivo Microsoft Kinect mediante las que se realizaban diferentes actividades en el mundo virtual para el aprendizaje del idioma catalán, satisfaciendo así el requerimiento RFVTE1. La experiencia Virtual Touch Book utilizó un libro físico como artefacto tangible que se conectaba al mundo virtual, donde se realizaban actividades según la página en que se encontrara abierta el libro, satisfaciendo de este modo el requisito RFVTB1.

En la experiencia Virtual Touch PrimBox se usaron las interfaces tangibles para mostrar y modificar las propiedades de las figuras geométricas, satisfaciendo así el requisito RFVTP1.

Finalmente, en la experiencia FlyStick se usó un tangible en forma de joystick que permitía capturar movimientos en los tres ejes de coordenadas, satisfaciendo el requisito RFVTF1.

Atendiendo a todos estos requisitos que se han satisfecho, se corrobora la hipótesis de investigación H1: Las experiencias realizadas muestran que **las tecnologías de mundos virtuales pueden ser complementadas por tecnologías de interfaces tangibles para conseguir sistemas de realidad mixta.**

Según se describe en el capítulo 5, los resultados pedagógicos fueron, en general, muy satisfactorios.

En la experiencia Cúbica se demostró que el sistema de realidad mixta mejoraba la motivación de los estudiantes y que el 95 % de estudiantes indicaron que el tangible les ayudó a entender mejor el concepto de vector o array.

En la experiencia Virtual Touch Eye se observó que los elementos tangibles ayudaron a mejorar la comprensión de la gramática catalana, especialmente a los alumnos que no tenían familiaridad con el alfabeto latino, lo que les conllevaba más problemas en la enseñanza con métodos tradicionales.

En la experiencia Virtual Touch Book se utilizó la gamificación como estrategia de aprendizaje: los estudiantes aprendieron la cultura griega haciendo uso de un libro tangible y los mundos virtuales. En esta experiencia, los alumnos fueron estructurados en varios grupos: grupo de control y grupo experimental. Se observó que en el grupo experimental los resultados fueron mejores con respecto al grupo de control (80 % del grupo experimental frente al 60 % del grupo de control).

En la experiencia Virtual Touch PrimBox se observaron mejores resultados en el grupo de estudiantes que emplearon el sistema de realidad mixta. Los resultados obtenidos fueron muy claros en cuanto a la motivación y al interés que mostraron los estudiantes al interactuar en un entorno similar a un juego: el 96.2 % de los estudiantes les gustó la experiencia y volvería a participar en experiencias similares.

En la experiencia Virtual Touch FlyStick también se dividió a los estudiantes en dos grupos. Aunque en el primer momento el resultado de las pruebas no mostró mejoras significativas en el grupo de estudiantes que utilizó la realidad mixta, sin embargo, tras repetir la evaluación dos semanas después sí que se observaron mejores resultados en el dicho grupo, lo cual puede interpretarse como que se ha conseguido una mejor retención de los conocimientos.

Por tanto, en base a los resultados cualitativos y cuantitativos de las experiencias, en las que han participado un total de 247 estudiantes, se corrobora la hipótesis de investigación H3: **las aplicaciones educativas mediante realidad mixta consiguen un aprendizaje más significativo.**

En resumen, la arquitectura Virtual Touch ha satisfecho todos los requisitos previstos, corroborando así las hipótesis de investigación de esta tesis, y alcanzando por tanto los tres objetivos generales fijados inicialmente (ver capítulo 1):

Se ha desarrollado una arquitectura que combina los mundos virtuales junto con las interfaces tangibles proporcionando un entorno de realidad mixta que permite desarrollar aplicaciones educativas de una forma rápida y sencilla. La arquitectura permite

la creación de aplicaciones educativas atendiendo a los conocimientos informáticos del educador.

Se han enriquecido los procesos de enseñanza-aprendizaje mediante el uso de entornos virtuales y mediante la interacción a través de las interfaces tangibles.

Se han probado varias aplicaciones educativas en centros educativos reales, y se ha demostrado su usabilidad, su efectividad y la consecución de mejoras en el aprendizaje.

## 6.2. Trabajo Futuro

Aunque la arquitectura Virtual Touch en su estado actual de desarrollo e implementación ha demostrado ser completamente operativa, cumpliendo todos los objetivos previstos inicialmente, durante su evaluación experimental se han identificado posibles áreas de mejora, que se proponen como futuras líneas de investigación.

- Mejora de algunos aspectos técnicos de la arquitectura desarrollada. La arquitectura dispone de algunas funcionalidades en fase de pruebas y habría que terminar de implementar, además de realizar las correspondientes pruebas.
- Prueba exhaustiva y mejora de la escalabilidad del sistema a través de experiencias en más centros educativos.
- Mejora del diseño y la funcionalidad de los prototipos funcionales desarrollados. Algunos prototipos pueden mejorar tanto la usabilidad como la efectividad. También sería interesante reducir el costo de los sensores evaluando posibles alternativas más económicas.
- Ampliación del número de tecnologías y de interfaces tangibles que forman parte del sistema Virtual Touch. Por ejemplo, la integración de la Raspberry Pi al sistema.
- Creación de un banco de recursos educativos para los mundos virtuales. De esta forma, los profesores reducirían esfuerzos en la creación de actividades adaptadas a los mundos virtuales.
- Realización de propuestas didácticas que favorezcan el trabajo cooperativo, las inteligencias múltiples y la gamificación en entornos virtuales tridimensionales e interfaces tangibles.
- Realización de más experiencias en centros educativos. Se añadirían más cuestionarios y se realizarían más estudios estadísticos. También se repetirían todas

las experiencias al cabo de un tiempo para seguir comparando los resultados obtenidos y viendo si realmente existen beneficios del sistema a largo plazo.

- Realización de una evaluación más exhaustiva del sistema por los diferentes tipos de usuarios atendiendo al nivel de conocimientos de informática y programación.
- Realización de un estudio específico de las interfaces tangibles dirigido a estudiantes con necesidades educativas especiales (alumnos con déficit de atención, alumnos con hiperactividad, alumnos con Asperger, etc.)



## Bibliografía

- [1] R. Bartle and R. Trubshaw, “Mud (multi-user dungeon),” *University of Essex*, 1978.
- [2] L. Achterbosch, R. Pierce, and G. Simmons, “Massively multiplayer online role-playing games: the past, present, and future,” *Computers in Entertainment (CIE)*, vol. 5, no. 4, p. 9, 2008.
- [3] E. Dieterle, “Multi-user virtual environments for teaching and learning,” in *Encyclopedia of Multimedia Technology and Networking, Second Edition*, pp. 1033–1041, IGI Global, 2009.
- [4] E. Castronova, *Synthetic worlds: The business and culture of online games*. University of Chicago Press, Ltd., 2005.
- [5] M. W. Bell, “Toward a definition of ”virtual world”,” *Journal of Virtual Worlds Research*, vol. 1, no. 1, 2008.
- [6] R. Schroeder, “Defining virtual worlds and virtual environments,” *Virtual Worlds Research: Past, Present & Future*, vol. 1, no. 1, 2008.
- [7] S. de Freitas, “Serious virtual worlds: A scoping study,” *JISC/Serious Games Institute*, 2008.
- [8] M. D. Dickey, “Brave new (interactive) worlds: A review of the design affordances and constraints of two 3d virtual worlds as interactive learning environments,” *Interactive Learning Environments*, vol. 13, no. 1-2, pp. 121–137, 2005.
- [9] C. Atkins, “Virtual experience: Observations on second life,” in *Computer-mediated social networking*, pp. 7–17, Springer, 2009.

- [10] A. De Lucia, R. Francese, I. Passero, and G. Tortora, "Development and evaluation of a virtual campus on second life: The case of secondlmi," *Computers & Education*, vol. 52, no. 1, pp. 220–233, 2009.
- [11] S. Robbins, "A futurist's view of second life education: A developing taxonomy of digital spaces," in *Second Life Education Workshop 2007*, pp. 24–26, 2007.
- [12] S. Babu, E. Suma, T. Barnes, and L. F. Hodges, "Can immersive virtual humans teach social conversational protocols?," in *Virtual Reality Conference, 2007. VR'07. IEEE*, pp. 215–218, IEEE, 2007.
- [13] S. Warburton, "Second life in higher education: Assessing the potential for and the barriers to deploying virtual worlds in learning and teaching," *British journal of educational technology*, vol. 40, no. 3, pp. 414–426, 2009.
- [14] M. D. Dickey, "The pragmatics of virtual worlds for k-12 educators: Investigating the affordances and constraints of activeworlds and secondlife with k-12 in-service teachers," *Educational technology research and development*, vol. 59, no. 1, pp. 1–20, 2011.
- [15] "Minecraft education," 2018. Último acceso online (23/07/2018): <https://education.minecraft.net/>.
- [16] "Unity," 2018. Último acceso online (23/09/2018) : <https://unity3d.com>.
- [17] "Project sansar," 2018. Último acceso online (05/03/2018): <https://sansar.com/>.
- [18] "Oculus rift," 2018. Último acceso online (31/08/2018): <https://www.oculus.com/>.
- [19] "High fidelity," 2018. Último acceso online (05/03/2018): <https://highfidelity.com/>.
- [20] "Leap motion," 2018. Último acceso online (18/03/2018): <https://www.leapmotion.com/>.
- [21] "Microsoft kinect," 2018. Último acceso online (31/08/2018): <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect>.
- [22] J. Piaget, "To understand is to invent: The future of education," 1973.
- [23] Vygotsky, *Mind and society: The development of higher mental processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978.
- [24] S. Warburton and M. P. García, "3d design and collaboration in massively multi-user virtual environments (moves)," in *Cases on collaboration in virtual learning environments: processes and interactions*, pp. 27–41, IGI global, 2010.



- [25] B. Dalgarno and M. J. Lee, "What are the learning affordances of 3-d virtual environments?," *British Journal of Educational Technology*, vol. 41, no. 1, pp. 10–32, 2010.
- [26] D. H. Jonassen, "Objectivism versus constructivism: Do we need a new philosophical paradigm?," *Educational technology research and development*, vol. 39, no. 3, pp. 5–14, 1991.
- [27] C. Dede, "The evolution of constructivist learning environments: Immersion in distributed, virtual worlds," *Educational technology*, vol. 35, no. 5, pp. 46–52, 1995.
- [28] K. Sheehy and R. Ferguson, "Educational inclusion and new technologies," 2008.
- [29] K. Sheehy, "Virtual worlds, inclusive education the tealeaf framework," *Controversial Issues in Virtual Education: Perspectives on Virtual Worlds*. Nova Science, NY, 2010.
- [30] C. Biever, "Web removes social barriers for those with autism," *New Scientist*, vol. 2610, pp. 26–27, 2007.
- [31] D. Livingstone and J. Kemp, "Integrating web-based and 3d learning environments: Second life meets moodle," *CEPIS UPGRADE: European Journal for the Informatics Professional*, vol. 2008, no. 3, pp. 8–14, 2008.
- [32] I. Duncan, A. Miller, and S. Jiang, "A taxonomy of virtual worlds usage in education," *British Journal of Educational Technology*, vol. 43, no. 6, pp. 949–964, 2012.
- [33] S. Papert, *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. New York, NY, USA: Basic Books, Inc., 1980.
- [34] Piaget, *The origins of intelligence in children*. New York: International Universities Press, 1952.
- [35] D. Livingstone and J. Kemp, "Massively multi-learner: Recent advances in 3d social environments. computing and information systems journal, 10 (2). retrieved july 11, 2007," 2006.
- [36] A. H. Moore, S. B. Fowler, and C. E. Watson, "Active learning and technology: Designing change for faculty, students, and institutions," *Educause Review*, vol. 42, no. 5, pp. 42–44, 2007.
- [37] "Virtual worlds best practices in education," 2018. Último acceso online (27/09/2018) : <https://vwbpe.org/>.

- [38] K. S. Park, J. Leigh, A. E. Johnson, B. Carter, J. Brody, and J. Sosnoski, "Distance learning classroom using virtual harlem," in *Virtual Systems and Multimedia, 2001. Proceedings. Seventh International Conference on*, pp. 489–498, IEEE, 2001.
- [39] M. Umaschi Bers, "Identity construction environments: Developing personal and moral values through the design of a virtual city," *The Journal of the Learning Sciences*, vol. 10, no. 4, pp. 365–415, 2001.
- [40] F. Bailey and M. Moar, "The vertex project: Exploring the creative use of shared 3D virtual worlds in the primary (k-12) classroom," in *ACM SIGGRAPH 2002 Conference Abstracts and Applications*, SIGGRAPH '02, (New York, NY, USA), pp. 52–54, ACM, 2002.
- [41] M. B. Ligorio and K. Van Veen, "Constructing a successful cross-national virtual learning environment in primary and secondary education," *AACE Journal*, vol. 14, no. 2, pp. 103–128, 2006.
- [42] D. J. Ketelhut, "The impact of student self-efficacy on scientific inquiry skills: An exploratory investigation in river city, a multi-user virtual environment," *Journal of science education and technology*, vol. 16, no. 1, pp. 99–111, 2007.
- [43] S. J. Metcalf, M. S. Tutwiler, A. Kamarainen, T. Grotzer, and C. Dede, "Learning complex causality in ecosystems via a multi-user virtual environment," in *annual meeting of the American Educational Research Association (AERA)*. Retrieved [retrieval date], from the AERA online paper repository, 2011.
- [44] M. Rico, D. Camacho, X. Alaman, and E. Pulido, "A high school educational platform based on virtual worlds," in *2nd Workshop on Methods and Cases in Computing Education (MCCE 2009)*, pp. 46–51, 2009.
- [45] R. Barlam Aspachs, M. <sup>a</sup>. J. Lasala, J. Marín Monfort, J. Masalles, and C. Pinya Salomó, "Espurnik, propuesta educativa en tres dimensiones," *Aula de Innovación Educativa*, vol. 19, no. 205, pp. 77–78, 2011.
- [46] M. Gea, X. Alaman, and P. Rodriguez, "Transmedia storytelling for social integration of children with cognitive disabilities," *Smart Education and e-Learning 2016*, Jan. 2016.
- [47] M. Thomas, "Researching machinima in project-based language learning: Learner-generated content in the camelot project," 2015.
- [48] "Tecola project," 2018. Último acceso online (19/08/2018): <http://www.tecola.eu>.
- [49] "Niflar project," 2018. Último acceso online (19/08/2018): <http://niflar.eu>.

- [50] K. Jauregi, S. Melchor-Couto, and E. Vilar Beltrán, “The european project tila,” *L. Bradley & S. Thouěsny (Eds.)*, vol. 20, pp. 123–128, 2013.
- [51] C. Schneider and L. Panichi, “Second life® as a virtual platform for language education,” in *Proceedings of the 2nd ICT for Language Learning Conference*, 2009.
- [52] I. Mascitti, F. Fedele, D. Di Marco, M. Fasciani, M. Feituri, and C. Stefanelli, “Teaching and learning in-world: lessons learnt from the avatar and the st. art projects,” in *Interactive Collaborative Learning (ICL), 2011 14th International Conference on*, pp. 232–236, IEEE, 2011.
- [53] M. J. Lasala, X. Alamán, and M. Gea, “A proposal for using virtual worlds for the integration,” in *Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence - 10th International Conference, UCAmI 2016, San Bartolomé de Tirajana, Gran Canaria, Spain, November 29 - December 2, 2016, Proceedings, Part I* (C. R. García, P. Caballero-Gil, M. Burmester, and A. Quesada-Arencia, eds.), vol. 10069 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 430–436, 2016.
- [54] M. Gea, X. Alaman, P. Rodriguez, and V. Martinez, “Towards smart & inclusive society: Building 3d immersive museum by children with cognitive disabilities,” 2016.
- [55] G. W. Fitzmaurice, H. Ishii, and W. A. S. Buxton, “Bricks: Laying the foundations for graspable user interfaces,” in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’95, (New York, NY, USA), pp. 442–449, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1995.
- [56] H. Ishii and B. Ullmer, “Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms,” 1997.
- [57] M. Resnick, F. Martin, R. Berg, R. Borovoy, V. Colella, K. Kramer, and B. Silverman, “Digital manipulatives: New toys to think with,” in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’98, (New York, NY, USA), pp. 281–287, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1998.
- [58] K. P. Fishkin, “A taxonomy for and analysis of tangible interfaces,” *Personal Ubiquitous Comput.*, vol. 8, pp. 347–358, Sept. 2004.
- [59] P. Marshall, Y. Rogers, and E. Hornecker, “Are tangible interfaces really any better than other kinds of interfaces?,” 2007.
- [60] H. S. Raffle, A. J. Parkes, and H. Ishii, “Topobo: a constructive assembly system with kinetic memory,” in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 647–654, ACM, 2004.

- [61] O. Zuckerman and M. Resnick, “Hands-on modeling and simulation of systems,” in *Proceedings of the 2004 conference on Interaction design and children: building a community*, pp. 157–158, ACM, 2004.
- [62] M. S. Horn, E. T. Solovey, R. J. Crouser, and R. J. K. Jacob, “Comparing the use of tangible and graphical programming languages for informal science education.”
- [63] Z. L. Xie, A. N. Antle, and N. Motamedi, “Are tangibles more fun?: comparing children’s enjoyment and engagement using physical, graphical and tangible user interfaces,” in *Proceedings of the 2nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction 2008, Bonn, Germany, February 18-20, 2008* (A. Schmidt, H. Gellersen, E. van den Hoven, A. Mazalek, P. Holleis, and N. Villar, eds.), pp. 191–198, ACM, 2008.
- [64] T. S. McNerney, “From turtles to tangible programming bricks: explorations in physical language design,” *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 8, no. 5, pp. 326–337, 2004.
- [65] B. P. M. Haro, P. C. Santana, and M. A. Magaña, “Developing reading skills in children with down syndrome through tangible interfaces,” in *Proceedings of the 4th Mexican Conference on Human-Computer Interaction, MexIHC ’12*, (New York, NY, USA), pp. 28–34, ACM, 2012.
- [66] J. Jadán-Guerrero, L. A. Guerrero, G. L. Herrera, D. Cáliz, and J. Bravo, “Creating tuis using RFID sensors - A case study based on the literacy process of children with down syndrome,” *Sensors*, vol. 15, no. 7, pp. 14845–14863, 2015.
- [67] W. Farr, N. Yuill, and H. Raffle, “1 collaborative benefits of a tangible interface for autistic children.”
- [68] D. B. LeGoff, “Use of lego© as a therapeutic medium for improving social competence,” *Journal of Autism and Developmental Disorders*, vol. 34, pp. 557–571, Oct 2004.
- [69] A. I. Starcic, M. Cotic, and M. Zajc, “Design-based research on the use of a tangible user interface for geometry teaching in an inclusive classroom,” *British Journal of Educational Technology*, vol. 44, no. 5, pp. 729–744, 2013.
- [70] J. Mateu, M. J. Lasala, and X. AlamÃñn, “Virtualtouch: A tool for developing mixed reality educational applications and an example of use for inclusive education.,” *Int. J. Hum. Comput. Interaction*, vol. 30, no. 10, pp. 815–828, 2014.
- [71] H. Ishii, “Tangible bits: beyond pixels,” in *Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction*, pp. xv–xxv, ACM, 2008.
- [72] P. Frei, V. Su, B. Mikhak, and H. Ishii, “Curlybot: designing a new class of computational toys,” in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 129–136, ACM, 2000.

- [73] H. Suzuki and H. Kato, “Algoblock: a tangible programming language, a tool for collaborative learning,” in *Proceedings of 4th European Logo Conference*, pp. 297–303, 1993.
- [74] Y. Kitamura, Y. Itoh, and F. Kishino, “Real-time 3d interaction with active-cube,” in *CHI’01 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pp. 355–356, ACM, 2001.
- [75] O. Zuckerman, S. Arida, and M. Resnick, “Extending tangible interfaces for education: Digital montessori-inspired manipulatives,” in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’05, (New York, NY, USA), pp. 859–868, ACM, 2005.
- [76] H. Newton-Dunn, H. Nakano, and J. Gibson, “Block jam: A tangible interface for interactive music,” 2003.
- [77] B. Ullmer, H. Ishii, and D. Glas, “mediablocks: physical containers, transports, and controls for online media,” in *Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 379–386, ACM, 1998.
- [78] B. Ullmer, H. Ishii, and R. J. Jacob, “Tangible query interfaces: Physically constrained tokens for manipulating database queries,” in *Proc. of INTERACT*, vol. 3, pp. 279–286, 2003.
- [79] S. Jordà, G. Geiger, M. Alonso, and M. Kaltenbrunner, “The reactable: Exploring the synergy between live music performance and tabletop tangible interfaces,” in *Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, TEI ’07, (New York, NY, USA), pp. 139–146, ACM, 2007.
- [80] B. Ullmer and H. Ishii, “The metadesk: models and prototypes for tangible user interfaces,” in *Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 223–232, ACM, 1997.
- [81] D. Africano, S. Berg, K. Lindbergh, P. Lundholm, F. Nilbrink, and A. Persson, “Designing tangible interfaces for children’s collaboration,” in *CHI ’04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA ’04, (New York, NY, USA), pp. 853–868, ACM, 2004.
- [82] M. S. Horn and R. J. K. Jacob, “Designing tangible programming languages for classroom use,” in *Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, TEI ’07, (New York, NY, USA), pp. 159–162, ACM, 2007.
- [83] F. Scharf, T. Winkler, and M. Herczeg, “Tangicons: Algorithmic reasoning in a collaborative game for children in kindergarten and first class,” in *Proceedings of the 7th International Conference on Interaction Design and Children*, IDC ’08, (New York, NY, USA), pp. 242–249, ACM, 2008.

- [84] D. Gallardo, C. F. Julia, and S. Jorda, “Turtan: A tangible programming language for creative exploration,” in *Horizontal Interactive Human Computer Systems, 2008. TABLETOP 2008. 3rd IEEE International Workshop on*, pp. 89–92, IEEE, 2008.
- [85] S. Johnson and A. P. Thomas, “Squishy circuits: a tangible medium for electronics education,” in *CHI’10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 4099–4104, ACM, 2010.
- [86] D. Stanton, V. Bayon, H. Neale, A. Ghali, S. Benford, S. Cobb, R. Ingram, C. O’Malley, J. Wilson, and T. Pridmore, “Classroom collaboration in the design of tangible interfaces for storytelling,” in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 482–489, ACM, 2001.
- [87] M. Stringer, E. F. Toye, J. A. Rode, and A. F. Blackwell, “Teaching rhetorical skills with a tangible user interface,” in *Proceedings of the 2004 conference on Interaction design and children: building a community*, pp. 11–18, ACM, 2004.
- [88] C. O’Malley and D. Stanton Fraser, “Literature Review in Learning with Tangible Technologies,” 2004. A NESTA Futurelab Research report - report 12.
- [89] A. Druin, J. Stewart, D. Proft, B. Bederson, and J. Hollan, “Kidpad: A design collaboration between children, technologists, and educators,” 1997.
- [90] M. Billinghamurst, H. Kato, and I. Poupyrev, “The magicbook: a transitional ar interface,” *Computers & Graphics*, vol. 25, no. 5, pp. 745–753, 2001.
- [91] R. Luckin, D. Connolly, L. Plowman, and S. Airey, “Children’s interactions with interactive toy technology,” *J. Comp. Assisted Learning*, vol. 19, no. 2, pp. 165–176, 2003.
- [92] M. Resnick, “Behavior construction kits,” vol. 36, pp. 64–71, 1993.
- [93] M. Resnick, F. Martin, R. Sargent, and B. Silverman, “Programmable bricks: Toys to think with,” *IBM Systems Journal*, vol. 35, no. 3/4, pp. 443–452, 1996.
- [94] J. Green, H. Schnädelbach, B. Koleva, S. Benford, T. P. Pridmore, K. E. Medina, E. C. Harris, and H. Smith, “Camping in the digital wilderness: tents and flashlights as interfaces to virtual worlds,” in *Extended abstracts of the 2002 Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2002, Minneapolis, Minnesota, USA, April 20-25, 2002* (L. G. Terveen and D. R. Wixon, eds.), pp. 780–781, ACM, 2002.
- [95] A. Sabuncuoglu, M. Erkaya, O. T. Buruk, and T. Göksun, “Code notes: designing a low-cost tangible coding tool for/with children,” in *Proceedings of the 17th ACM Conference on Interaction Design and Children, IDC 2018, Trondheim, Norway, June 19-22, 2018* (M. N. Giannakos, L. Jaccheri, and M. Divitini, eds.), pp. 644–649, ACM, 2018.

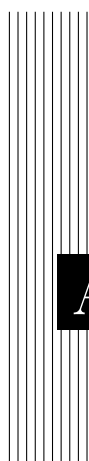
- [96] Q. Jin, D. Wang, X. Deng, N. Zheng, and S. C. Chiu, “Ar-maze: a tangible programming tool for children based on AR technology,” in *Proceedings of the 17th ACM Conference on Interaction Design and Children, IDC 2018, Trondheim, Norway, June 19-22, 2018* (M. N. Giannakos, L. Jaccheri, and M. Divitini, eds.), pp. 611–616, ACM, 2018.
- [97] P. Milgram and F. Kishino, “A taxonomy of mixed reality visual displays,” *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, vol. 77, no. 12, pp. 1321–1329, 1994.
- [98] A. Serbanati, C. M. Medaglia, and U. B. Ceipidor, “Building blocks of the internet of things: State of the art and beyond,” in *Deploying RFID-Challenges, Solutions, and Open Issues*, InTech, 2011.
- [99] L. Tolentino, D. Birchfield, C. Megowan-Romanowicz, M. C. Johnson-Glenberg, A. Kelliher, and C. Martinez, “Teaching and learning in the mixed-reality science classroom,” *Journal of Science Education and Technology*, vol. 18, no. 6, pp. 501–517, 2009.
- [100] G. Nikolakis, G. Fergadis, D. Tzovaras, and M. Strintzis, “A mixed reality learning environment for geometry education,” *Methods and Applications of Artificial Intelligence*, pp. 93–102, 2004.
- [101] D. Müller and J. M. Ferreira, “Marvel: A mixed-reality learning environment for vocational training in mechatronics,” in *Proceedings of the Technology Enhanced Learning International Conference (TEL 03)*, 2003.
- [102] V. Callaghan, M. Gardner, B. Horan, J. Scott, L. Shen, and M. Wang, “A mixed reality teaching and learning environment,” *Hybrid Learning and Education*, pp. 54–65, 2008.
- [103] M. C. J. Lizandra, “Augmented reality and tangible interfaces for learning,” in *Advanced Learning*, InTech, 2009.
- [104] “Nintendo wii,” 2018. Último acceso online (31/08/2018): <https://www.nintendo.es/Wii/Wii-94559.html>.
- [105] “Gartner hype cycle,” 2018. Último acceso online (19/08/2018): <http://www.gartner.com>.
- [106] “Google glass 2018,” 2018. Último acceso online (31/08/2018): <https://x.company/glass/>.
- [107] “Htc vive,” 2018. Último acceso online (31/08/2018): <https://www.vive.com/us/>.
- [108] “Microsoft hololens,” 2018. Último acceso online: (31/08/2018): <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>.

- [109] K. Peffers, T. Tuunanen, M. A. Rothenberger, and S. Chatterjee, “A design science research methodology for information systems research,” *Journal of management information systems*, vol. 24, no. 3, pp. 45–77, 2007.
- [110] “Phidgets,” 2018. Último acceso online (02/01/2018): <https://www.phidgets.com/>.
- [111] J. Mateu and X. Alamán, “An experience of using virtual worlds and tangible interfaces for teaching computer science,” *Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence*, pp. 478–485, 2012.
- [112] J. Mateu and X. Alamán, “CUBICA: an example of mixed reality,” *J. UCS*, vol. 19, no. 17, pp. 2598–2616, 2013.
- [113] J. Mateu, M. J. Lasala, and X. Alamán, “Developing mixed reality educational applications: The virtual touch toolkit,” *Sensors*, vol. 15, no. 9, pp. 21760–21784, 2015.
- [114] J. Mateu, M. J. Lasala, and X. Alamán, “Tangible interfaces and virtual worlds: A new environment for inclusive education,” in *Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence. Context-Awareness and Context-Driven Interaction - 7th International Conference, UCAmI 2013, Carrillo, Costa Rica, December 2-6, 2013, Proceedings* (G. Urzaiz, S. F. Ochoa, J. Bravo, L. L. Chen, and J. Oliveira, eds.), vol. 8276 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 119–126, Springer, 2013.
- [115] J. Mateu, M. J. L. Bello, and X. Alamán, “Virtual touch book: A mixed-reality book for inclusive education,” in *International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence*, pp. 124–127, Springer, 2014.
- [116] A. Ayala, G. Guerrero, J. Mateu, L. Casades, and X. Alamán, “Virtual touch flystick and primbox: two case studies of mixed reality for teaching geometry,” in *International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence*, pp. 309–320, Springer, 2015.
- [117] G. Guerrero, A. Ayala, J. Mateu, L. Casades, and X. Alamán, “Integrating virtual worlds with tangible user interfaces for teaching mathematics: A pilot study,” *Sensors*, vol. 16, no. 11, p. 1775, 2016.
- [118] A. M. Lund, “Measuring usability with the use questionnaire12,” *Usability interface*, vol. 8, no. 2, pp. 3–6, 2001.
- [119] “Kinect para windows,” 2018. Último acceso online (02/07/2018): <https://developer.microsoft.com/es-es/windows/kinect>.
- [120] “Arduino,” 2018. Último acceso online (02/01/2018): <https://www.arduino.cc/>.
- [121] “Msdn,” 2018. Último acceso online (23/07/2018): <https://msdn.microsoft.com>.



- [122] “Activeworlds,” 2018. Último acceso online (20/06/2018): <https://www.activeworlds.com/>.
- [123] “Openwonderland,” 2018. Último acceso online (20/06/2018): <http://openwonderland.org/>.
- [124] “Second life,” 2018. Último acceso online (18/05/2018): <https://secondlife.com/>.
- [125] “Opensimulator,” 2018. Último acceso online (19/08/2018): <http://opensimulator.org>.
- [126] “Sloodle.” Último acceso online (19/08/2018): <https://www.sloodle.org/>.
- [127] “Moodle,” 2018. Último acceso online (19/06/2018): <https://moodle.org/>.
- [128] S. Vosinakis, P. Koutsabasis, and P. Zaharias, “An exploratory study of problem-based learning in virtual worlds,” in *Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES), 2011 Third International Conference on*, pp. 112–119, IEEE, 2011.
- [129] “Sketchup,” 2018. Último acceso online (20/06/2018): <https://www.sketchup.com>.
- [130] “Blender,” 2018. Último acceso online (19/06/2018): <https://www.blender.org/>.
- [131] “Libopenmetaverse,” 2018. Último acceso online (19/08/2018): <http://openmetaverse.co/projects/libopenmetaverse>.
- [132] “Singularity viewer,” 2018. Último acceso online (19/08/2018): <http://www.singularityviewer.org/>.
- [133] “Simonastick,” 2018. Último acceso online (12/05/2018): <http://simonastick.com/>.
- [134] “Metaverseink,” 2018. Último acceso online: (26/08/2018): <http://metaverseink.com/Downloads.html>.
- [135] “Opensimulator community conference,” 2018. Último acceso online (26/08/2018): <http://conference.opensimulator.org/2017/>.
- [136] “Eurocall languages,” 2018. Último acceso online (26/08/2018): <http://www.eurocall-languages.org/>.
- [137] “Qavimator,” 2018. Último acceso online (26/9/2018): <http://qavimator.org/>.
- [138] “Kitely,” 2018. Último acceso online (10/07/2018): <https://www.kitely.com/>.
- [139] M. Coban, T. Karakus, A. Karaman, F. Gunay, and Y. Goktas, “Technical problems experienced in the transformation of virtual worlds into an education environment and coping strategies,” *Journal of Educational Technology & Society*, vol. 18, no. 1, 2015.

- [140] F. T. Santoveña, S., “El proyecto added value of teaching in a virtual world (avatar),” *Didáctica, innovación y multimedia*, 18, 1-9, 2010.
- [141] X. Alamán, J. Mateu, and M. J. Lasala, “Designing virtual world educational applications,” in *2016 IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON 2016, Abu Dhabi, United Arab Emirates, April 10-13, 2016*, pp. 1134–1137, IEEE, 2016.
- [142] “reactivision,” 2018. Último acceso online (23/7/2018): <http://reactivision.sourceforge.net/>.
- [143] R. G. G. Idrovo, “Propuesta y evaluación de un prototipo de interfaz de usuario tangible en mundos virtuales para la educación,” Master’s thesis, Universidad Autónoma de Madrid, 2015.
- [144] C. A. A. Cajas, “Propuesta de una interfaz de usuario isotónica-isométrica para control de sistemas de realidad mixta para la educación,” Master’s thesis, Universidad Autónoma de Madrid, 2015.
- [145] M. Kaltenbrunner and R. Bencina, “reactivision: a computer-vision framework for table-based tangible interaction,” in *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction*, pp. 69–74, ACM, 2007.
- [146] “Especificación protocolo tuio,” 2018. Último acceso online (01/06/2018): <https://tuio.org/>.



## A Anexos

## **Anexo 1. Ejercicios algoritmos ordenación**

# Algoritmos de ordenación

Nombre: \_\_\_\_\_ Apellidos: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_

1. Ordena el siguiente vector utilizando el **algoritmo de la burbuja**. Anota las diferentes pasadas que has realizado.

9	6	5	4	3	1
---	---	---	---	---	---

## Iteración 0

--	--	--	--	--	--

## Iteración 1

--	--	--	--	--	--

## Iteración 2

--	--	--	--	--	--

## Iteración 3

--	--	--	--	--	--

## Iteración 4

--	--	--	--	--	--

2. Ordena el siguiente vector utilizando el **algoritmo de selección directa**. Anota las diferentes pasadas que has realizado.

7	1	6	3	5	4
---	---	---	---	---	---

## Iteración 0

--	--	--	--	--	--

## Iteración 1

--	--	--	--	--	--

## Iteración 2

--	--	--	--	--	--

**Iteración 3**

--	--	--	--	--	--

**Iteración 4**

--	--	--	--	--	--

3. Ordena el siguiente vector utilizando el **algoritmo de inserción directa**. Anota las diferentes pasadas que has realizado.

7	6	4	1	5	3
---	---	---	---	---	---

**Iteración 0**

--	--	--	--	--	--

**Iteración 1**

--	--	--	--	--	--

**Iteración 2**

--	--	--	--	--	--

**Iteración 3**

--	--	--	--	--	--

**Iteración 4**

--	--	--	--	--	--

4. Ordena el siguiente vector utilizando el **algoritmo de selección directa**. Anota las diferentes pasadas que has realizado.

6	9	1	4	3	2
---	---	---	---	---	---

**Iteración 0**

--	--	--	--	--	--

**Iteración 1**

--	--	--	--	--	--

**Iteración 2**

--	--	--	--	--	--

**Iteración 3**

--	--	--	--	--	--

**Iteración 4**

--	--	--	--	--	--

5. **Identifica** que algoritmo de ordenación se ha utilizado en la siguiente traza.

5	2	4	6	1
---	---	---	---	---

**Iteración 0**

2	4	5	1	6
---	---	---	---	---

**Iteración 1**

2	4	1	5	6
---	---	---	---	---

**Iteración 2**

2	1	4	5	6
---	---	---	---	---

**Iteración 3**

1	2	4	5	6
---	---	---	---	---

## **Anexo 2. Cuestionario Mundos virtuales**



# Introducción a los mundos virtuales (OpenSim)

Formulario sobre la sesión introductoria sobre los mundos virtuales

**\*Obligatorio**

**1. Nombre y Apellidos: \***

.....

**2. Curso: \***

.....

**3. Edad \***

.....

**4. Sexo \***

H(hombre), M (mujer)

.....

**5. ¿Conocías los mundos virtuales? \***

*Marca solo un óvalo.*

☐ Sí

☐ No

**6. ¿Habías utilizado anteriormente algún mundo virtual? \***

Mundo virtual: World of Warcraft, Sims, Club Penguin...

*Marca solo un óvalo.*

☐ Sí

☐ No

**7. ¿Te ha gustado la sesión sobre mundos virtuales? \***

*Marca solo un óvalo.*

☐ Sí

☐ No

**8. ¿Te ha parecido fácil usar e interactuar en los mundos virtuales? \***

*Marca solo un óvalo.*

☐ Sí

☐ No

9. **¿Crees que los mundos virtuales facilita el entendimiento de los ejes de coordenadas X,Y,Z? \***

*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Sí  
☐ No  
☐ No lo se

10. **¿Ves difícil cambiar las propiedades de un objeto o prim? \***

*Cambiar su tamaño, cambiarlo de posición...*

*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Sí  
☐ No

11. **¿Te gustaría realizar actividades usando los mundos virtuales en clase? \***

*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Sí  
☐ No

12. **¿Te gustaría realizar actividades usando los mundos virtuales desde casa? \***

*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Sí  
☐ No

13. **¿Crees que los mundos virtuales te facilitaran la enseñanza de Matemáticas? \***

*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Sí  
☐ No

14. **¿Ves difícil realizar actividades colaborativas desde los mundos virtuales? \***

*Por ejemplo, hacer ejercicios con parejas usando vuestros avatares*

*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Sí  
☐ No

15. **Escribe brevemente tus impresiones sobre la sesión realizada \***

.....

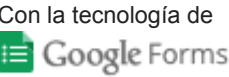
.....

.....

.....

.....

16. ¿En qué asignaturas te gustaría usar los mundos virtuales? \*



### **Anexo 3. Cuestionario usabilidad**

# Cuestionario de usabilidad y experiencia del usuario

**\*Obligatorio**

1. **Nombre \***

.....

2. **Apellidos \***

.....

3. **Sexo \***

*Marca solo un óvalo.*

☐ Hombre

☐ Mujer

4. **Curso y Grupo \***

.....

5. **¿Los elementos tangibles te permiten cambiar los parámetros de los objetos? \***

Se refiere al cambio de tamaño, color, rotación del objeto...

*Marca solo un óvalo.*

☐ Sí

☐ No

6. **¿Te ha sido fácil utilizar los elementos tangibles? \***

*Marca solo un óvalo.*

☐ Sí

☐ No

7. **He encontrado el sistema fácil de VirtualTouch \***

VirtualTouch es el sistema que estará formado tanto por los elementos tangibles como por el mundo virtual y sus actividades

*Marca solo un óvalo.*

☐ Sí

☐ No

8. **La simulación de las actividades en el mundo virtual han sido demasiado complejas \***

Llevar a cabo las actividades de Geometría en los mundos virtuales  
*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Sí
- ☐ No

9. **Creo que en líneas generales el sistema se aprende a utilizar rápidamente \***

Aprender a manejar rápidamente tanto los tangibles como los mundos virtuales  
*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Sí
- ☐ No

10. **Usando el sistema, me he sentido... \***

Aprender a manejar rápidamente tanto los tangibles como los mundos virtuales  
*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Relajado
- ☐ Frustrado

11. **Usando VirtualTouch (sistema), me he sentido... \***

Cabe comentar tus sensaciones utilizando el sistema VirtualTouch  
*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Relajado
- ☐ Frustrado
- ☐ Tenso
- ☐ Otros: .....

12. **El esfuerzo realizado para resolver las actividades ha sido... \***

En una escala del 1 al 5 (siendo 1 muy poco y 5 mucho)  
*Marca solo un óvalo.*

	1	2	3	4	5	
Muy poco esfuerzo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Esfuerzo muy alto

13. **¿Te parece original el sistema desarrollado? \***

Indica Si, No y el motivo.

.....

.....

.....

.....

.....

**14. ¿Te motiva utilizar VirtualTouch en clase? \***

VirtualTouch es el sistema que utiliza tanto los tangibles como el mundo virtual  
*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Sí  
☐ No

**15. ¿Te gustaría utilizar VirtualTouch desde casa? \***

VirtualTouch es el sistema que utiliza tanto los tangibles como el mundo virtual  
*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Sí  
☐ No

**16. ¿Te has distraído mucho mientras realizas las actividades usando VirtualTouch? \***

VirtualTouch es el sistema que utiliza tanto los tangibles como el mundo virtual  
*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Sí  
☐ No

**17. VirtualTouch, ¿te facilita el trabajo en grupo? \***

VirtualTouch es el sistema que utiliza tanto los tangibles como el mundo virtual  
*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Sí  
☐ No

**18. ¿Has necesitado mucho la ayuda y asistencia del profesor? \***

*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Sí  
☐ No

**19. ¿Qué cosas mejorarías en VirtualTouch? \***

.....

.....

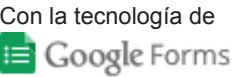
.....

.....

.....

20. ¿Usarías VirtualTouch en otra asignatura? \*

En caso afirmativo indica qué asignatura y que actividades te gustaría realizar





---

## Anexo 4. Actividad Virtual Touch PrimBox

# ACTIVIDAD 1

## Modelo A

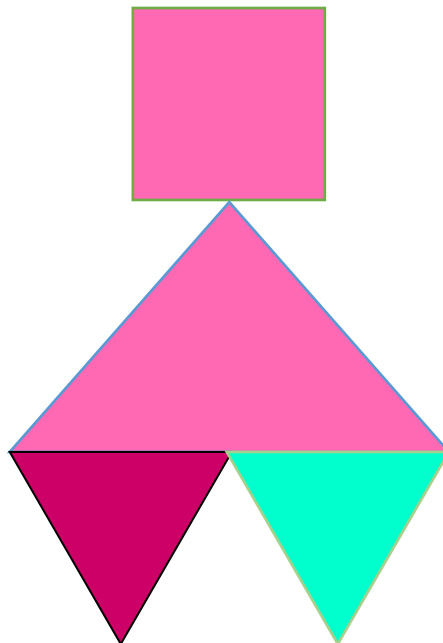
La actividad se realizará por parejas en la que un componente de la pareja tendrá dicha hoja con la que no deberá mostrar la figura que aparecerá a continuación. Mediante el lenguaje geométrico (vértice, ángulos, puntos, punto medio, posición, rotación...) deberá dar las indicaciones oportunas a su compañero para que replique la misma figura sin verla.

En el momento de empezar a dar indicaciones a tu compañero deberás apuntar la hora exacta de inicio (por ejemplo 11:25) e inmediatamente al finalizar la tarea se anotará la hora de finalización de la actividad.

**COMPONENTES DEL GRUPO :**

**HORA DE INICIO**

**HORA DE FINALIZACIÓN**



**CORRESPONDENCIA ENTRE  
FIGURAS:**

**SI / NO**

**LENGUAJE GEOMÉTRICO**

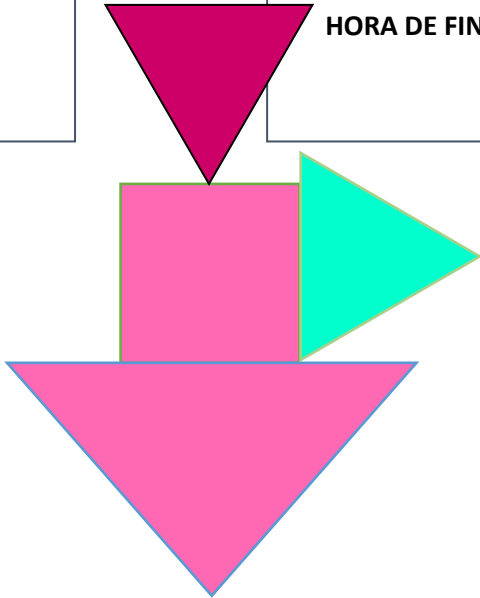
**SI / NO**

# ACTIVIDAD 1

## Modelo B

La actividad se realizará por parejas en la que un componente de la pareja tendrá dicha hoja con la que no deberá mostrar la figura que aparecerá a continuación. Mediante el lenguaje geométrico (vértice, ángulos, puntos, punto medio, posición, rotación...) deberá dar las indicaciones oportunas a su compañero para que replique la misma figura sin verla.

En el momento de empezar a dar indicaciones a tu compañero deberás apuntar la hora exacta de inicio (por ejemplo 11:25) e inmediatamente al finalizar la tarea se anotará la hora de finalización de la actividad.

<b>COMPONENTES DEL GRUPO :</b>	
<b>HORA DE INICIO</b>	<b>HORA DE FINALIZACIÓN</b>
	
<b>CORRESPONDENCIA ENTRE FIGURAS:</b>  <b>SI / NO</b>	<b>LENGUAJE GEOMÉTRICO</b>  <b>SI / NO</b>

# ACTIVIDAD 1

## Modelo C

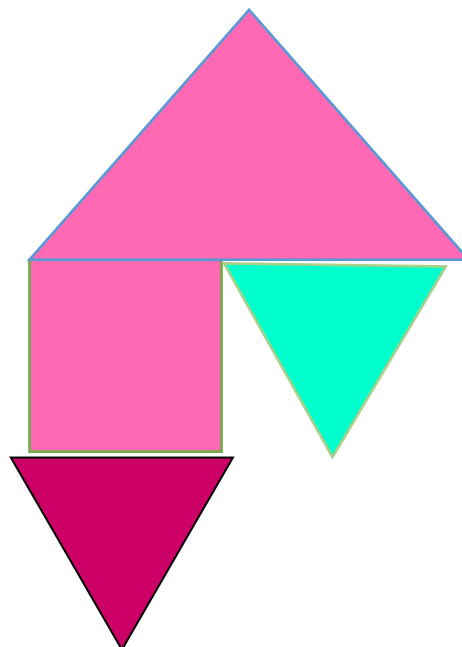
La actividad se realizará por parejas en la que un componente de la pareja tendrá dicha hoja con la que no deberá mostrar la figura que aparecerá a continuación. Mediante el lenguaje geométrico (vértice, ángulos, puntos, punto medio, posición, rotación...) deberá dar las indicaciones oportunas a su compañero para que replique la misma figura sin verla.

En el momento de empezar a dar indicaciones a tu compañero deberás apuntar la hora exacta de inicio (por ejemplo 11:25) e inmediatamente al finalizar la tarea se anotará la hora de finalización de la actividad.

<b>COMPONENTES DEL GRUPO :</b>
--------------------------------

<b>HORA DE INICIO</b>
-----------------------

<b>HORA DE FINALIZACIÓN</b>
-----------------------------



<b>CORRESPONDENCIA ENTRE FIGURAS:</b>
<b>SI / NO</b>

<b>LENGUAJE GEOMÉTRICO</b>
<b>SI / NO</b>

# ACTIVIDAD 1

## Modelo D

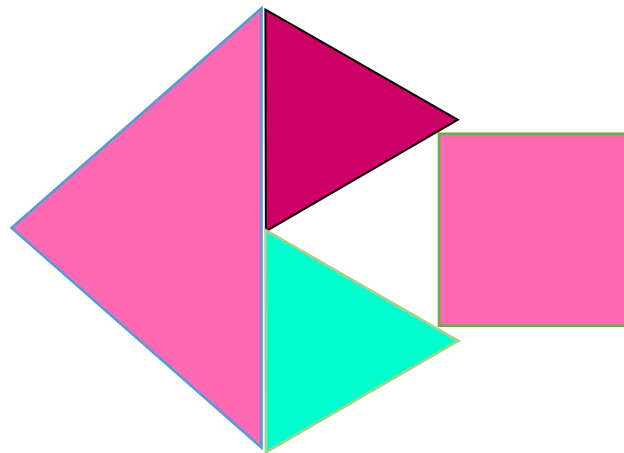
La actividad se realizará por parejas en la que un componente de la pareja tendrá dicha hoja con la que no deberá mostrar la figura que aparecerá a continuación. Mediante el lenguaje geométrico (vértice, ángulos, puntos, punto medio, posición, rotación...) deberá dar las indicaciones oportunas a su compañero para que replique la misma figura sin verla.

En el momento de empezar a dar indicaciones a tu compañero deberás apuntar la hora exacta de inicio (por ejemplo 11:25) e inmediatamente al finalizar la tarea se anotará la hora de finalización de la actividad.

**COMPONENTES DEL GRUPO :**

**HORA DE INICIO**

**HORA DE FINALIZACIÓN**



**CORRESPONDENCIA ENTRE  
FIGURAS:**

**SI / NO**

**LENGUAJE GEOMÉTRICO**

**SI / NO**

## **Anexo 5. Evaluación actividad cónicas Virtual Touch FlyStick**

# Evaluación: Actividad Cónicas

**\*Obligatorio**

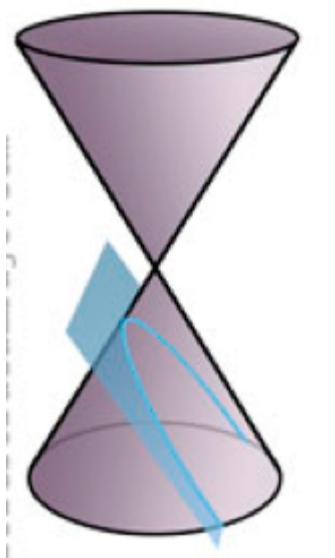
1. Nombre y Apellidos \*

.....

2. Curso y grupo \*

.....

## Figura 1

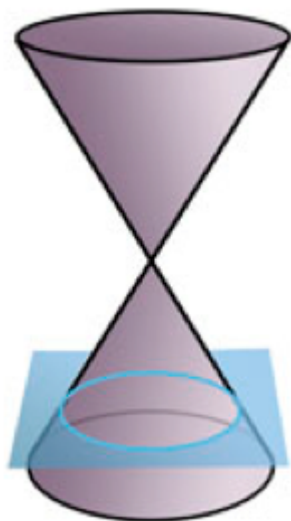


3. Respecto a la figura 1, ¿cuál es el nombre de la curva generada? \*

*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Hipérbola
- ☐ Parábola
- ☐ Circunferencia
- ☐ Elipse

## Figura 2

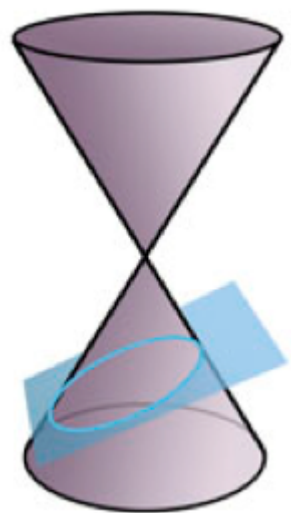


4. Respecto a la figura 2, ¿cuál es el nombre de la curva generada? \*

*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Hipérbola
- ☐ Parábola
- ☐ Circunferencia
- ☐ Elipse

### Figura 3



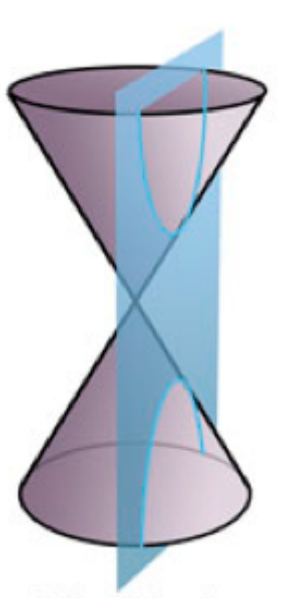


5. Respecto a la figura 3, ¿cuál es el nombre de la curva generada? \*

Marca solo un óvalo.

- ☐ Hipérbola
- ☐ Parábola
- ☐ Circunferencia
- ☐ Elipse

## Figura 4

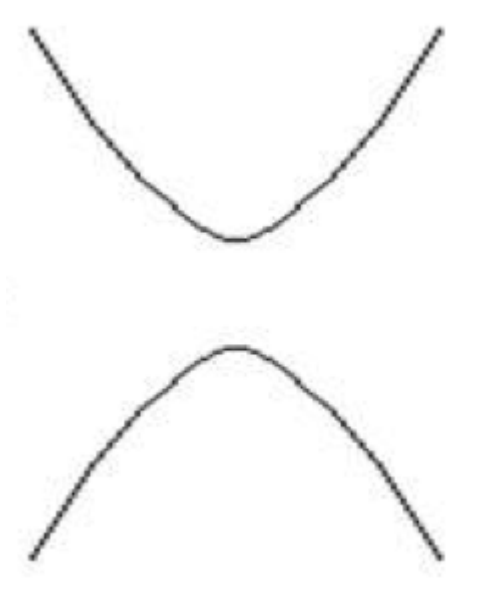


6. Respecto a la figura 4, ¿cuál es el nombre de la curva generada? \*

Marca solo un óvalo.

- ☐ Hipérbola
- ☐ Parábola
- ☐ Circunferencia
- ☐ Elipse

## Curva Generada 1



7. ¿cuál es el nombre de la curva generada 1? \*

*Marca solo un óvalo.*

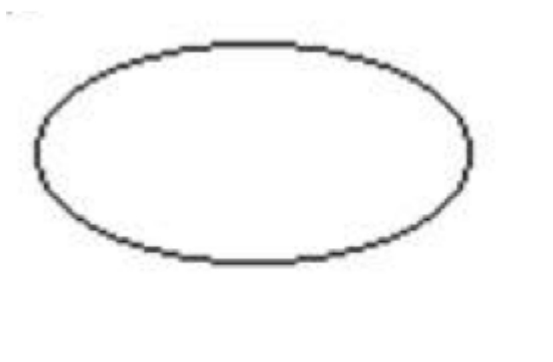
- ☐ Hipérbola
- ☐ Parábola
- ☐ Circunferencia
- ☐ Elipse

8. La curva generada 1, ¿a qué figura corresponde? \*

*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Figura 1
- ☐ Figura 2
- ☐ Figura 3
- ☐ Figura 4

## Curva Generada 2



9. ¿cuál es el nombre de la curva generada 2? \*

*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Hipérbola
- ☐ Parábola
- ☐ Circunferencia
- ☐ Elipse

10. La curva generada 2, ¿a qué figura corresponde? \*

*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Figura 1
- ☐ Figura 2
- ☐ Figura 3
- ☐ Figura 4

### Curva Generada 3



11. La curva generada 3, ¿a qué figura corresponde? \*

*Marca solo un óvalo.*

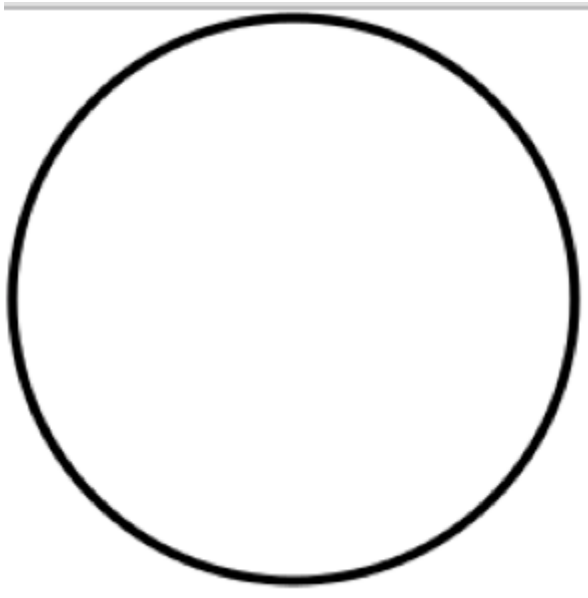
- ☐ Figura 1
- ☐ Figura 2
- ☐ Figura 3
- ☐ Figura 4

12. ¿cuál es el nombre de la curva generada 3? \*

*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Hipérbola
- ☐ Parábola
- ☐ Circunferencia
- ☐ Elipse

### Curva Generada 4



13. ¿cuál es el nombre de la curva generada 4? \*

*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Hipérbola
- ☐ Parábola
- ☐ Circunferencia
- ☐ Elipse

14. La curva generada 4, ¿a qué figura corresponde? \*

*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Figura 1
- ☐ Figura 2
- ☐ Figura 3
- ☐ Figura 4

15. ¿Te ha parecido interesante la actividad realizada? \*

*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Si
- ☐ No

16. ¿Te ha sido difícil realizar la actividad? \*

*Marca solo un óvalo.*

- ☐ Si
- ☐ No

---

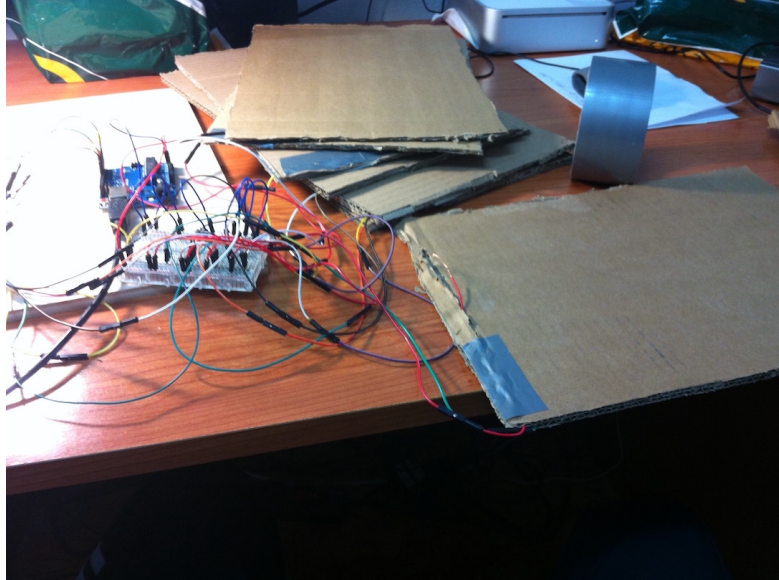
Con la tecnología de



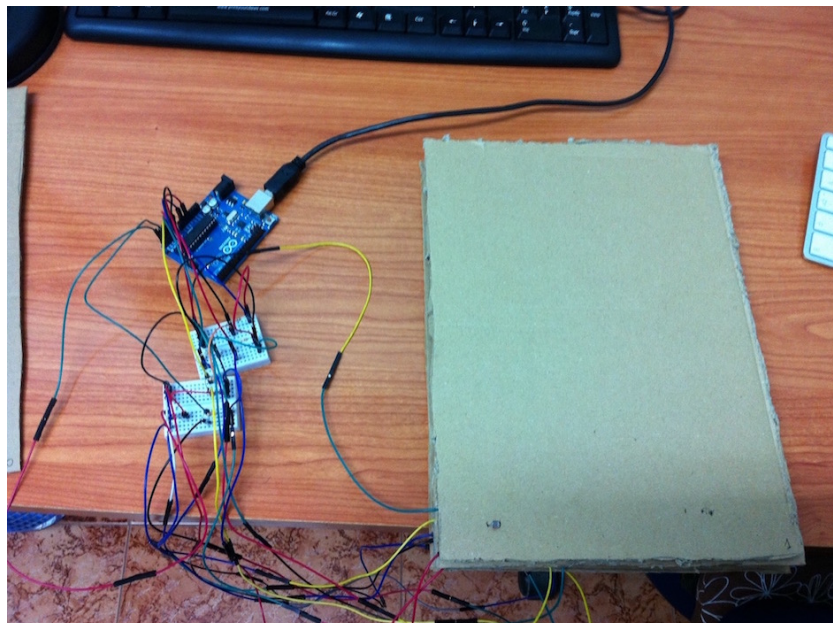
## **Anexo 6. Prototipos Virtual Touch Book**

## Virtual Touch Book

En la siguiente imagen, vemos el primer prototipo realizado para Virtual Touch Book. Virtual Touch Book es un libro tangible construido con láminas de cartón que representan las hojas y utiliza la tecnología Arduino para establecer las conexiones y poder determinar en que página se encuentra el usuario en un momento determinado. Para ello, en cada una de las páginas (láminas de cartón) se incorporó cable para que al contactar con la otra página pudiera hacer contacto y de esta forma se puede determinar que páginas están en contacto y cuales no. La página que no está en contacto es porque corresponde a la página que está abierta y es la que está consultando el usuario. En base a la página que se encuentre el usuario, se establecerán una serie de acciones en el mundo virtual OpenSim.



Posteriormente, se hizo otro prototipo utilizando la misma idea del primero, es decir, usando el microcontrolador Arduino y simulando el libro tangible mediante las láminas de cartón. En este caso, se detectó algunas problemáticas en cuanto a que algunas páginas debido al poco peso de las láminas de cartón, no hacían bien el contacto y en algunos determinados momentos no se correspondía la página que estaba abierta en ese instante o incluso aparecían como que habían varias páginas abiertas sin estarlo. Por tanto, se probó insertar un sensor de luz (LDR) en cada página y en base a la luminosidad que reciba se puede detectar en qué página está. Aunque el sensor LDR no es un sensor preciso pero se puede hacer pruebas para establecer un umbral adecuado de luminosidad y de esta forma ya solucionamos los problemas iniciales respecto a los contactos.

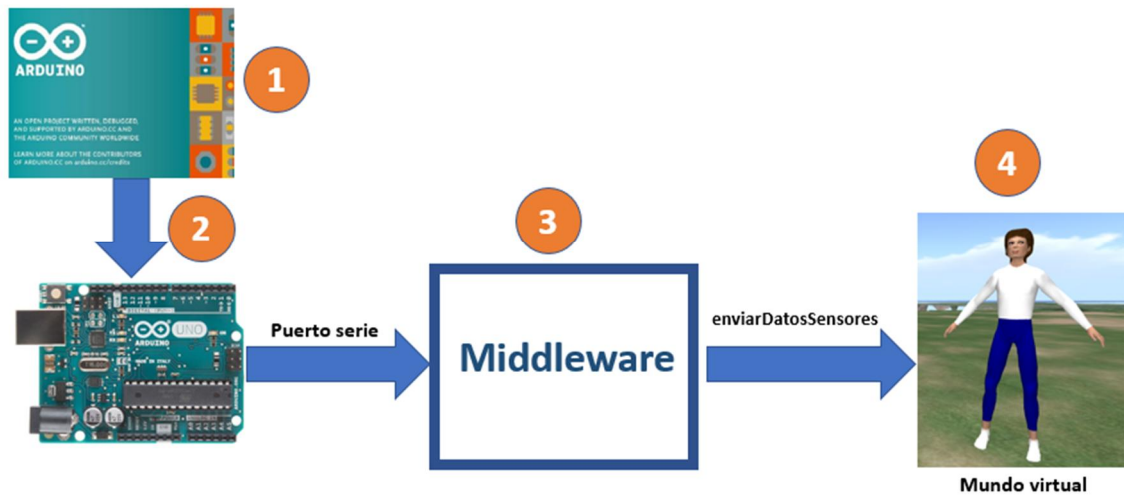


## **Anexo 7. Esquema Virtual Touch Book**



# VirtualTouch Book

En el siguiente esquema vemos la comunicación que hay entre el microcontrolador Arduino con respecto al middleware y la conexión a los mundos virtuales donde se recibirá la información de los sensores LDR.



En base a la imagen anterior, vamos a dividir el proceso en 4 pasos con el objetivo final de permitir la lectura de la página abierta del libro VirtualTouch Book y que desde el mundo virtual pueda procesarse y se puedan realizar ciertas acciones según la página que esté abierta.

1. El primer paso consiste en crear el programa para poder volcarlo al microcontrolador Arduino. Para esta experiencia se usan sensores LDR (fotorresistencia) que se colocan en cada una de las páginas del libro para así identificar la página que está abierta según el LDR que más luz está recibiendo. En la siguiente imagen, vemos el código inicial para empezar a desarrollar el prototipo y solo aparece para un único sensor LDR.

```
//variables para cada PIN analógico
int ldr_pin0=A0;

//variables que almacenarán el valor recogido por cada LDR
int val0=0;

void setup(){
  pinMode(ldr_pin0,INPUT);

  Serial.begin(9600);
}

void loop(){

  //leemos los valores de cada LDR
  val0=analogRead(ldr_pin0);

  //valor constante de luminosidad
  int valorLDR=660;

  //PÁGINA 1 *****
  if(val0>=valorLDR){
    Serial.println("Pagina 1: Abierta");
  }else{
    Serial.println("Página 1: Cerrada");
  }
  delay(1800);
}
```

2. El segundo paso consistirá en compilar y volcar el programa desarrollado en el dispositivo Arduino y comprobar si envía señales por el puerto serie.
3. El tercer paso consiste en programar desde el middleware la forma de recibir los datos mediante el puerto serie. Para ello, usando el lenguaje C#, programaremos un manejar para que cada vez que reciba un mensaje por el puerto serie lo almacene en una variable para posteriormente se pueda enviar al mundo virtual. En la siguiente imagen, vemos un fragmento de un método que permite leer los valores recibidos mediante el puerto serie. Podemos ver la línea de código (**client.self.chat()**) que lo que hace es enviar al mundo virtual la cadena que ha sido enviada desde el microcontrolador Arduino indicando la página actual del libro tangible al canal 19 del mundo virtual.

```
private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
{
    if (serialPort1.IsOpen)
    {
        string cadena = serialPort1.ReadExisting();

        if (!cadena.Equals(""))
        {
            lblNumPagina.Text = cadena;
            client.Self.Chat(cadena, 19, ChatType.Shout);
        }
    }
}
```

4. El cuarto y último paso consiste en programar un script usando LSL para que cuando reciba un mensaje lo pueda procesar y así pueda modificar el comportamiento de determinados objetos o nos redirija a una zona concreta de la isla virtual. En la siguiente imagen vemos un ejemplo básico de cómo se lee un mensaje por el canal 19 y se cambia la textura de un determinado objeto.

```
string textura2="a5d47a99-890e-404b-ba90-aeab83bd5086";

default
{
    state_entry()
    {
        llListen(19,"","","");
    }

    listen(integer channel, string name, key id, string message) {
        if(channel == 19){
            if(message == "Página 1: Abierta") {
                llSetTexture(textura2,ALL_SIDES);
            }
        }
    }
}
```